

La polémique autour des éoliennes



Anne-Lucile JAMET
Delphine LEROUX
Frédéric AUTRET
Hicham SAADLI
Arnaud LABORDE

MSIE 33 – juin 2020

RESUME

Les enjeux liés au changement climatique conduisent les gouvernements européens à revoir en profondeur leur politique énergétique, notamment de production d'électricité, afin de réduire drastiquement la part des énergies fossiles – pétrole, charbon, gaz... – fortement émettrices de Gaz à Effet de Serre, au bénéfice d'énergies moins carbonées. Si le nucléaire, énergie sur laquelle est fondée la souveraineté énergétique de la France depuis les années 50, peut être considéré comme une énergie décarbonée, elle présente d'autres écueils, comme le risque d'accidents ou le retraitement des déchets nucléaires, difficilement compatibles avec la transition écologique. À l'heure où les centrales historiques vieillissantes doivent être remplacées, la France doit faire un choix pour son mix énergétique à l'horizon 2050. Dans ce contexte, émerge depuis les années 2000, le développement industriel des énergies renouvelables, dont l'énergie éolienne est le fer de lance. Leurs défenseurs affirment qu'elles seraient aptes à remplacer totalement le nucléaire dès 2050, tout en assurant une production d'électricité décarbonée. Si l'énergie éolienne est la figure de proue des EnR, c'est qu'elle repose sur une ressource naturelle, fréquente, non polluante et gratuite : le vent. La France bénéficierait de surcroît d'un fort potentiel de vent, se plaçant à la 2^e place européenne derrière le Royaume-Uni. Or, cette énergie éolienne suscite de nombreuses polémiques quant à son bilan énergétique, écologique et économique, mais également politique, sociétal et sanitaire. Considérée intermittente, non pilotable et non concentrée, elle nécessiterait énormément d'investissements pour l'intégrer aux réseaux de transport de l'électricité et garantir la sécurité énergétique du pays. Cette piètre rentabilité conduirait à l'emploi d'une énergie complémentaire possiblement carbonée. Autre écueil important, de nombreuses éoliennes seraient nécessaires pour remplacer une centrale nucléaire. Cet effet de taille gâcherait les paysages et l'environnement des riverains, entraînant des effets sanitaires désastreux et un défaut de démocratie encouragé par un système de financement crapuleux instauré par l'État. Enfin, d'un point de vue économique, le développement de l'énergie éolienne conduirait à l'abandon de la filière nucléaire, ce qui induirait des pertes de compétence et d'emplois, mais également une perte de la souveraineté énergétique de la France. Du côté de ses défenseurs, l'énergie éolienne, certes encore perfectible, serait beaucoup plus sécurisée et coûterait beaucoup moins cher à développer que le nucléaire de 3^e et 4^e génération. L'intermittence et la non pilotabilité seraient largement contournables par la répartition des éoliennes sur le territoire et le foisonnement. En étant beaucoup moins centralisée que le nucléaire, elle permettrait de relocaliser la production d'électricité dans les régions et d'assurer une autonomie énergétique locale. Les études d'impacts permettraient de contourner les problèmes environnementaux et sanitaires soulevés. Enfin, les éoliennes favoriseraient l'essor d'une économie circulaire créatrice d'emploi et d'apports financiers pour les communes, tout en garantissant leur indépendance énergétique.

À partir d'une étude attentive des grilles de lecture des détracteurs et des défenseurs des éoliennes, ce mémoire se propose de dresser le bilan de l'énergie éolienne et de remettre en perspective cette polémique, à l'heure où les choix politiques autour du mix énergétique européen revêtent un caractère crucial.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais pu voir le jour sans les experts qui ont accepté de nous accorder un entretien. Ces échanges nous ont permis d'enrichir notre réflexion et de nous forger notre propre grille de lecture. Nous les remercions particulièrement pour l'intérêt porté à notre travail, ainsi que pour leur disponibilité, leur confiance et le temps qu'ils nous ont consacré afin de nous apporter les éclairages utiles à la compréhension de notre sujet d'étude¹ :

- * Monsieur Nicolas MAZZUCCHI, expert en énergie, Chargé de Recherche à la Fondation pour la recherche stratégique
- * Monsieur Stéphane CHATELIN, Président de l'association négaWatt,
- * Monsieur Daniel STEINBACH, Président de l'association Vent de Colère
- * Monsieur Jean-Louis BUTRE, Président de la Fédération Environnement Durable
- * Monsieur Sébastien BILLEAU, Ingénieur éolien à l'ADEME,
- * Madame Caroline WATRIPONT, Consultante en énergies, CGI
- * Monsieur Jérémy SIMON, Délégué Général Adjoint du Syndicat des Énergies Renouvelables
- * Madame Camille CHARPIAT, Responsable de la filière éolienne terrestre, Syndicat des Énergies Renouvelables

Les avis ainsi recueillis ont largement contribué à la formation de notre opinion. Celle-ci n'en demeure pas moins strictement personnelle et n'engage en aucune façon nos interlocuteurs auxquels nous tenons une nouvelle fois à exprimer toute notre reconnaissance.

Nous remercions également Antoine VIOLET-SURCOUF pour ses précieux enseignements, Boris AL-NASRAWI, ingénieur électricien, pour ses conseils avisés et Christine FASSERT, chercheur en sociologie à l'Université Paris I pour sa relecture attentive et instructive, ainsi que les personnes qui nous ont permis d'entrer en relation avec certains de ces experts, Sonia GODARD et Clément CHEVIGNON.

Par ailleurs, nous tenons à remercier très sincèrement l'École de Guerre Economique, son Directeur, Monsieur Christian HARBULOT, son Adjoint, Monsieur Charles PAHLAWAN, et toute l'équipe enseignante, de nous avoir dispensé un enseignement de grande qualité en intelligence économique.

Nous remercions également chaleureusement nos collègues de la promotion MSIE33 pour les bons moments partagés au cours de cette année, regrettant néanmoins les aléas que nous avons subis, en particulier le confinement lié à la Covid-19.

Enfin, que nos familles soient remerciées pour le soutien qu'elles nous ont accordé et le temps précieux qu'elles nous ont permis de consacrer à ce travail.

¹ Classés par ordre chronologique de date d'entretien

Table des matières

RESUME.....	2
REMERCIEMENTS	3
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	9
INTRODUCTION	11
PARTIE 1/HISTOIRE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE AU SEIN DU MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS DANS UN CONTEXTE DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	13
1.1 Une brève histoire de l'énergie en France	13
a) Le règne des énergies renouvelables	13
b) Du charbon au nucléaire, la transition française.....	14
c) L'engagement dans le nucléaire	16
1.2 La prise de conscience environnementale favorise l'émergence des EnR.....	17
a) L'émergence de la problématique des émissions de Gaz à Effet de Serre	17
b) Un mouvement antinucléaire influent	19
c) L'accident nucléaire de Fukushima, ou le basculement de l'opinion.....	20
1.3 L'essor de l'éolien industriel en France	21
a) Des débuts laborieux	21
b) Un nouvel élan à la suite du rapport Brundtland	23
c) Le mécanisme d'obligation d'achat de l'électricité renouvelable.....	24
d) Une intensification des réglementations pour la filière éolienne.....	25
1.4 Le cadre réglementaire actuel.....	26
a) La Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (2015)	26
b) La 21 COP et l'Accord de Paris (2015)	28
c) La loi énergie-climat (2019)	28
d) La dernière Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) d'avril 2020.....	29
e) Le Pacte Vert pour l'Europe.....	30
f) L'encadrement administratif de tout projet éolien.....	30
1.5 Les EnR dans le mix électrique français actuel	31
a) La production française d'électricité	31
b) La consommation électrique en France	32
c) La révision du mix énergétique au profit des EnR à horizon 2025.....	33
PARTIE 2/L'ÉNERGIE ÉOLIENNE, LA MEILLEURE DES EnR ?.....	35
2.1 Qu'est-ce qu'une énergie renouvelable ?	35

a)	Des énergies de flux aux EnR.....	35
b)	L'énergie hydraulique.....	36
c)	L'énergie marémotrice.....	36
d)	L'énergie solaire.....	37
e)	La biomasse, ou la bioénergie.....	38
f)	La géothermie.....	38
2.2	Et l'énergie éolienne dans tout ça ?.....	39
a)	Des conditions d'exploitation favorables.....	39
b)	Le fonctionnement d'une éolienne terrestre.....	40
c)	Les différents types d'éoliennes terrestres.....	41
2.3	Les éoliennes aujourd'hui en France.....	41
a)	Puissance installée, production et consommation d'électricité éolienne.....	41
b)	Le marché de l'emploi éolien français.....	45
c)	L'environnement concurrentiel du secteur.....	46
d)	Focus sur l'éolien en mer.....	47
CONCLUSION INTERMÉDIAIRE Les éoliennes répondent-elles à l'objectif assigné ?.....		49
a)	Bilan énergétique.....	49
b)	Bilan carbone.....	50
c)	Bilan environnemental.....	52
d)	Bilan socioéconomique.....	53
e)	Bilan sociétal et sanitaire.....	54
f)	Bilan de l'éolien offshore.....	57
g)	Que faut-il retenir ?.....	58
PARTIE 3/LA POLÉMIQUE SUR LES ÉOLIENNES, UN DÉBAT TRONQUE.....		60
3.1	Une polémique au long cours.....	60
a)	Un débat en pointillé.....	60
b)	Une polémique à son apogée début 2020.....	62
3.2	Le positionnement des acteurs sur l'échiquier.....	63
a)	Un théâtre aux multiples acteurs.....	63
b)	L'échiquier politique.....	63
c)	L'échiquier concurrentiel.....	68
d)	L'échiquier sociétal.....	71
e)	Synthèse des échiquiers.....	74

3.3	Un débat verrouillé	75
a)	Des détracteurs malgré tout mesurés	75
b)	Des défenseurs timorés	76
c)	Les arguments de soutien aux éoliennes	77
d)	Les arguments contre les éoliennes	78
e)	Quel bilan de la polémique ?	83
PARTIE 4/UN ENJEU DE SOUVERAINETÉ ÉNERGÉTIQUE ?		84
4.1	Une souveraineté énergétique française fragilisée.....	84
a)	Une souveraineté assurée par le nucléaire	84
b)	Un changement de paradigme	85
4.2	La stratégie américaine pour imposer son gaz de schiste en Europe	86
a)	Une stratégie de longue haleine.....	86
b)	L'extraterritorialité, un moyen de déstabiliser la souveraineté énergétique de la France.....	86
c)	L'affaire Alstom.....	87
d)	Un autre levier d'action : les mouvements antinucléaires.....	88
e)	Les Young Leaders	91
f)	L'influence américaine par les agences d'information financière	91
4.3	L'Allemagne, le berceau des antinucléaires	95
a)	Un pays leader dans l'énergie éolienne	95
b)	L'OFATE.....	96
c)	Greenpeace Energy.....	96
d)	Les conséquences de la perte d'Areva Wind.....	97
4.4	Une bataille de l'industrialisation de la filière mal engagée	98
a)	Le marché énergétique français à la croisée de nombreux intérêts.....	98
b)	Une filière éolienne française à l'état embryonnaire.....	98
PARTIE 5/QUELS AUTRES ENJEUX DERRIÈRE LA POLÉMIQUE ANTI-EOLIENNE ?.....		100
5.1	Un impératif d'électorisme ?	100
a)	Une opinion publique défavorable au nucléaire	100
b)	Une action efficace du lobby antinucléaire	101
c)	Un argument de campagne dans la course aux voix	101
5.2	Une chimère pour entretenir l'illusion d'un avenir radieux ?	102
a)	Une augmentation de la consommation d'électricité annoncée	102

b)	Le mythe de la croissance verte	103
c)	La décroissance, ou la fin du PIB	105
5.3	Un écolo-business juteux ?	106
a)	Un business douteux	106
b)	Une industrialisation dans l'intérêt des grands groupes.....	107
c)	Un vecteur de greenwashing pour les entreprises polluantes ?	107
d)	Une nouvelle manne financière pour les bobo-écologistes	108
5.4	Un faire-valoir pour redorer le blason du nucléaire ?	108
a)	Une énergie comportant des risques	108
b)	Un caractère éco friendly discutable.....	109
c)	Une énergie nucléaire de plus en plus coûteuse.....	110
d)	Les éoliennes et leurs imperfections, une aubaine pour le lobby nucléaire.....	111
5.5	La polémique sur les éoliennes, une spécificité française ?	112
a)	Analyse de cas à l'international.....	112
b)	L'exception nucléaire française	115
c)	Le rapport des Français au paysage.....	117
d)	L'éolienne industrielle, une contradiction sémiologique à résoudre	117
PARTIE 6/QUEL AVENIR POUR L'ÉOLIEN EN FRANCE ?		119
6.1	L'éolien, des progrès encore possibles.....	119
a)	Mettre au point des unités de stockage efficaces de l'électricité.....	119
b)	Améliorer la flexibilité du réseau grâce aux smartgrids.....	120
c)	Développer une industrie française de l'éolien, en particulier offshore	121
6.2	L'éolien, un allié de la territorialité ?	122
a)	Une autonomie énergétique des régions plébiscitée	122
b)	Une décentralisation apte à assurer la sécurité des territoires	122
c)	Une énergie aux retombées économiques positives pour les territoires.....	123
d)	Mieux impliquer les citoyens.....	124
6.3	L'éolien pour éviter l'effondrement	124
a)	Sortir de l'indécision politique.....	124
b)	Des économies d'énergies incontournables.....	125
c)	Sobriété et efficacité énergétiques, seules portes de sortie.....	126
d)	Sortir de la monoculture.....	127
6.4	Quel bilan global de l'énergie éolienne pour le mix énergétique français de demain ?	127

CONCLUSION	131
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	134
BIBLIOGRAPHIE & SOURCES	135
* Ouvrages.....	135
* Cadre législatif	136
* Rapports, études et brochures.....	136
* Revues	140
* Sites internet de référence.....	141
* Articles en ligne	143
* Videos et conférences	147
* Sondages d'opinion	148
* Centres de ressources	148
ANNEXES.....	149
Annexe 1 : Les étapes du développement d'un projet éolien	149
Annexe 2 : Les étapes du cycle de vie d'une installation éolienne	150
Annexe 3 : Principales technologies de stockage de l'électricité.....	150
ÉTUDES DE CAS À L'INTERNATIONAL	151
Annexe 4 : Allemagne.....	152
Annexe 5 : Chine.....	156
Annexe 6 : Danemark	161
Annexe 7 : Espagne	164
Annexe 8 : États-Unis	167
Annexe 9 : Royaume-Uni.....	170

TABLE DES ABRÉVIATIONS

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, devenue Agence de la transition écologique

AEE : Agence pour les économies d'énergie

AFME : Agence française pour la maîtrise de l'énergie

AIE : Agence internationale de l'énergie

ANDRA : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

ANFR : Agence nationale des fréquences

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire

APRI : Association de protection contre les rayonnements Ionisants

CCNUCC : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

CdF : Charbonnages de France

CEA : Commissariat à l'énergie atomique

CIREN : Centre International de recherche sur l'environnement et le développement

CNAN : Coordination nationale antinucléaire

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

COMES : Commissariat à l'énergie solaire

COP : Conference of the parties

CRE : Commission de régulation de l'énergie

CRIIRAD : Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité

CSPE : Contribution au service public de l'électricité

EDF : Électricité de France

EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz

EELV : Europe écologie les verts

EnR : Énergies renouvelables

EPR: European Pressurized Reactor

ETP : Emploi temps plein

FED : Fédération environnement durable

FEE : France énergie éolienne

GAFAM : Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft

GDF : Gaz de France

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC)

GW : Gigawatt

GWh : Gigawattheure

GWEC: Global wind energy council

HA/VL : Haute activité/à vie longue

ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement

IP : Internet Protocol

IPCC : Intergovernmental panel on climate change (GIEC)

IRENA : Agence internationale pour les énergies renouvelables

LCOE: Levelized cost of energy

LPO : Ligue pour la protection des oiseaux

LTECV : Loi de transition énergétique pour la croissance verte

MA/VL : Moyenne activité/à vie longue

MCAA : Mouvement contre l'armement atomique

MT : Mégatonne
MW : Mégawatt
MWh : Mégawattheure
OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
ONU : Organisation des Nations Unies
PEON : Production électrique d'origine nucléaire
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP)
POPE : loi de Programmation des orientations de la politique énergétique
PPE : Programmation pluriannuelle de l'énergie
PPI : Programmation pluriannuelle d'investissements
PRG : Potentiel de réchauffement global (GWP)
R&D : Recherche et développement
REP : Réacteurs à eau pressurisée
RTE : Réseau de transport électrique
SER : Syndicat des énergies renouvelables
SNBC : Stratégie nationale bas-carbone
SPPEF : Société pour la protection des paysages et de l'esthétique de la France
STEP : Stations de transfert d'énergie par pompage
TPE : Très petite entreprise
TW : Téra watt
TWh : Téra wattheure
UE : Union européenne
UNGG : Uranium graphite gaz
ZDE : Zones de développement éolien

INTRODUCTION

Depuis le début des années 2000, le système énergétique français, et en particulier électrique, est au cœur d'une profonde mutation. La libéralisation du marché de l'électricité, alliée à une meilleure prise en compte des enjeux du changement climatique ont conduit les gouvernements européens à œuvrer pour diminuer les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Or le secteur de l'énergie, dont celui de l'électricité lorsqu'elle est générée par des énergies fossiles, est le premier émetteur de GES.

En France, où EDF, opérateur historique, avait le monopole, ces deux facteurs ont considérablement changé la donne. Le système électrique repose à 71 % sur le nucléaire, énergie décrite comme décarbonée par tous ses défenseurs. En effet, une fois les centrales construites, l'énergie nucléaire produit peu de CO₂, 12 gr/MWh² selon le GIEC contre plus d'1 kg pour les centrales à charbon ou 700 gr pour les centrales à gaz. Le nucléaire présente cependant d'autres inconvénients. Le démantèlement des centrales historiques qui doit avoir lieu dans les 10 prochaines années nous privera de cette source d'énergie décarbonée à bas coût, les nouveaux European Pressurized Reactor (EPR) étant beaucoup plus coûteux. Par ailleurs, les trois accidents nucléaires – Three Mile Island (USA) en mars 1979, Tchernobyl (Ukraine) en avril 1986 et Fukushima (Japon) en mars 2011 – ainsi que la question du traitement des déchets nucléaires a durablement et profondément terni l'image de cette énergie. La question cruciale de savoir par quoi la remplacer se pose alors.

En parallèle, un autre type d'énergie décarbonée s'est développé. Il s'agit des Énergies Renouvelables (EnR), réputées propres d'un point de vue environnemental, et durables car se fondant sur des ressources naturelles inépuisables : l'hydraulique tout d'abord, exploitant la force de l'eau puis, au cours des 20 dernières années, les énergies solaire et éolienne. La production d'électricité à partir d'énergies renouvelables atteint ainsi 473 térawattheures (TWh)³ en 2018, soit 7 % de la production mondiale d'électricité, un chiffre encore très faible. Pourtant certains experts tels que l'ADEME ou négaWatt, n'hésitent pas à tabler sur des scénarii prospectifs atteignant 100 % d'EnR à l'horizon 2050, dont la majorité produits en éolien.

En effet, l'énergie d'origine éolienne est souvent considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables, apte à devenir la principale énergie électrique de demain pour remplacer le charbon, le pétrole, le gaz et même le nucléaire. En effet, le vent est gratuit, propre et se renouvelle chaque jour. La technologie semble la plus mature parmi les EnR pour parvenir à produire la quantité d'électricité nécessaire au fonctionnement d'un pays. En France, à l'horizon 2030, le nombre d'éoliennes, d'environ 8500 aujourd'hui, pourrait pratiquement doubler afin de respecter les objectifs fixés par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, dont la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie est l'outil de pilotage, ainsi que des dernières directives européennes sur les énergies renouvelables.

² Mégawatt, désigne la capacité de production d'une installation électrique

³ Un térawattheure correspond à la quantité d'énergie produite par un térawatt de capacité, soit 1000 gigawatts ou 1 000 000 de mégawatts, en une heure.

Toutefois, l'énergie éolienne telle qu'elle est industrialisée, ne semble pas à la hauteur des espérances qu'elle suscite. Elle fait en outre l'objet de nombreuses polémiques à travers le monde, et en France en particulier, depuis le début de son émergence, entraînant une guerre informationnelle nourrie par leurs opposants qui lui imputent un bilan catastrophique, tant sur les plans énergétique et environnemental que sur les plans économique, sociétal, sanitaire, et politique. Alors, les éoliennes sont-elles une alternative efficiente, propre et durable aux énergies fossiles, une chimère des utopistes écologistes ou un vecteur de greenwashing – et d'immense profit – permettant de racheter une conscience écologique aux entreprises les plus polluantes ?

Ce rapport propose de repartir de la grille de lecture des opposants, mais aussi des défenseurs de l'énergie éolienne afin d'analyser les arguments de chacun et de mettre au jour leurs modes opératoires d'influence. Il s'agira également de dresser le bilan de cette énergie, d'en tirer les forces et les faiblesses, ainsi que les opportunités et les risques, afin de remettre en perspective la polémique qu'elle génère, à l'heure où la politique énergétique de la France semble manquer de vision.

PARTIE 1/HISTOIRE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE AU SEIN DU MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS DANS UN CONTEXTE DE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Le paysage énergétique de la France est en perpétuelle évolution depuis le XIXe siècle. Marqué d'abord par le charbon, puis par le pétrole, il a enregistré une mutation dans les années 1970 avec le développement massif du nucléaire, puis, dans les années 1990 avec le recours croissant au gaz naturel. Il connaît aujourd'hui une nouvelle transition avec l'essor des énergies renouvelables et les politiques bas-carbone de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Quel a été le contexte historique de cette évolution ? Et quel est le cadre réglementaire qui régit le système énergétique actuel ?

1.1 Une brève histoire de l'énergie en France

a) Le règne des énergies renouvelables

L'évolution de l'humanité est étroitement liée à l'utilisation de nouvelles énergies, qui vont au fil du temps améliorer son bien-être. La première découverte majeure de l'histoire est l'utilisation du bois pour faire du feu, permettant de se chauffer, de s'éclairer et de faire cuire des aliments, vers 400 000 ans av. J.-C. À la période néolithique, c'est la domestication de certains animaux tels que les bovins, dont la musculature permet de tracter des charrues ou de transporter du matériel, qui améliore la vie humaine. À la fin de cette période, vers 3 000 ans avant notre ère, d'autres sources d'énergie commencent à être exploitées : le vent et l'eau. L'apparition des premiers bateaux à voile notamment, permet de se déplacer beaucoup plus loin qu'auparavant. Au IIIe siècle av. J.-C., la roue à eau existe déjà dans le bassin méditerranéen. Selon l'historien Fernand Braudel, il faut attendre le VIIe siècle pour trouver des traces de l'existence des moulins à vent⁴, dans des régions où l'eau peut être difficilement exploitée, les plus anciens moulins à vent attestés ayant été découverts en Perse, dans la région de Sistan (sud-est de l'Iran et du sud-ouest de l'Afghanistan). Aux XIe et XIIe siècles, les monastères jouent un rôle important dans le développement des moulins en Europe, dans les pays côtiers comme l'Italie et la France, puis l'Espagne et le Portugal. C'est cependant surtout aux Pays-Bas que les moulins se développent pour fabriquer de l'huile et du papier. Cette première forme d'énergie éolienne est principalement utilisée pour moulinier du grain, en particulier du blé, presser de l'huile ou pomper l'eau nécessaire à l'irrigation des cultures, ce qui autorise le développement des récoltes à grande échelle.

Cependant, les principales sources d'énergie employées au niveau mondial jusqu'au Moyen Âge restent le bois, la force animale et surtout la force humaine, rendue exploitable par le biais de l'esclavage, qui, à titre d'exemple, représente 40 % de la population de l'Empire Romain. La prédominance du bois comme énergie principale, au sein d'un mix énergétique 100 % renouvelable, durera jusqu'au milieu du XIXe siècle. Or, durant toute cette période de l'Antiquité à la Révolution Industrielle, le niveau de vie de l'humanité évolue peu. En revanche, le besoin croissant de charbon de bois, pour forger les métaux ou fabriquer de la chaux, du verre, et des briques, engendre une déforestation massive. Les ressources en bois, bien que renouvelables, restent limitées et largement insuffisantes pour accompagner les innovations techniques. C'est ce qui va inciter les artisans anglais à

⁴ Fédération des Moulins de France, <https://fdmf.fr/historique-des-moulins-a-vent/>

recourir, dès le XVI^e siècle, au charbon « de terre », issus d’affleurements⁵ connus de longue date, mais dont l’utilisation était jusque-là marginale, car réputée vicier l’air et provoquer de graves maladies. Par la suite, l’invention du coke et son développement au XVIII^e siècle en Angleterre va rendre possible la Révolution Industrielle. Au milieu du XIX^e siècle, le charbon est la principale source d’énergie utilisée, car apte à soutenir le développement des machines à vapeur de l’écossais Watt, des générateurs électriques de Faraday et du chemin de fer. La Révolution Industrielle et le début de la croissance économique correspondent donc à un basculement d’une « économie verte » vers une « économie brune »⁶.

b) Du charbon au nucléaire, la transition française

En France, l’exploitation du charbon s’intensifie au XVIII^e siècle, suite à la mise au jour du bassin houiller d’Anzin, dans le Nord–Pas-de-Calais. La Compagnie des Mines d’Anzin⁷, fondée en 1757, devient l’une des premières grandes sociétés industrielles du pays, la plus grande société minière privée française et sera un leader mondial de la production de charbon au début du XX^e siècle. Les ouvertures de fosses minières se succèdent, mais une logique boursière des principales entreprises du secteur entraîne une pénurie de charbon. La Première Guerre Mondiale affecte profondément le secteur minier français, dont beaucoup de puits seront inondés et sabotés par les Allemands en 1918 lors de la débâcle, ce qui aggrave encore la pénurie. Cependant, une autre énergie fossile a pris de l’ampleur durant cette période. L’utilisation massive de moyens de transport militaires à moteur – automobiles, camions, avions, tracteurs pour l’artillerie de campagne – augmente sensiblement la consommation de pétrole de la France. Le pays réalise alors sa dépendance aux pays producteurs de pétrole. Pour y remédier, la Compagnie Française des Pétroles est créée en 1924. Le principal objectif de cette compagnie est de constituer des stocks stratégiques de pétrole qui permettraient de prémunir la France de toute fluctuation ou pénurie mondiale.

En parallèle, pour diversifier ses énergies et éviter de trop importer de charbon et de pétrole, la France se lance, à partir des années 20, dans le développement de la production hydroélectrique, première énergie renouvelable développée depuis le début de l’exploitation des énergies fossiles, qui assurera 60 % du mix électrique entre 1946 et 1960.

À la veille de la Deuxième Guerre mondiale, un groupement de chercheurs européen⁸ travaille sur la fission de l’uranium, dont Enrico Fermi et Léo Szilard, Otto Hahn et Lise Meitner à Berlin ainsi que Irène Curie et Paul Savitch à Paris. En mars 1939, à la suite de ces travaux, le physicien et chimiste français, Frédéric Joliot-Curie, le mari d’Irène Curie, aidé de son équipe du Collège de France, découvre le principe des réactions en chaîne pouvant provoquer la fission, ainsi que ses possibles applications militaires. C’est le début d’une course aux armements nucléaires des Alliés contre l’Allemagne et l’URSS, dans un contexte de guerre mondiale. Elle se traduit par un vaste programme de recherche américain, baptisé Manhattan. Mené par les États-Unis avec la participation du Royaume-Uni et du Canada, ce programme aboutira à la création de la première bombe atomique. Au lendemain de la

⁵ Cécile Douxchamps-Lefèvre, Les premiers essais de fabrication du coke dans les charbonnages du Nord de la France et de la région de Charleroi à la fin du XVIII^e siècle, *Revue du Nord*, 1968

⁶ Philippe Charlez, L’Utopie de la Croissance Verte, *La Revue de l’Énergie* n° 646, Sept-octobre 2019, p.64

⁷ Archives Nationales, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/camt/fr/memoires/donnees_expositions/06_11_06-07_07_27_mines/expo_virtuelle/html/exploitation_charbon/exploitation.php

⁸ <https://www.laradioactivite.com/site/pages/ladecouvertedelafission.htm>

libération, le Général de Gaulle crée le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)⁹, dont la direction sera confiée à Frédéric Joliot-Curie dès le 2 janvier 1946. Le rôle du CEA est de conduire les recherches en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans divers domaines tels que la science, l'industrie et la défense nationale. La France, à l'instar de tous les pays de l'ONU, se lance aussi en secret dans un programme de recherche sur la fabrication de la bombe atomique. Les premiers réacteurs nucléaires à usage militaire sont construits en 1956. Il faudra attendre encore 7 ans pour que l'utilisation civile du nucléaire en découle.

L'année 1946 marque également la création de plusieurs sociétés étatiques françaises dans le domaine énergétique :

* **Electricité de France** (EDF) gère le développement de l'hydroélectricité et des centrales thermiques au charbon, puis au fioul, à partir de 1958, du fait du très faible prix du pétrole et de l'épuisement des sites susceptibles d'accueillir des centrales hydrauliques.

* **Gaz de France** (GDF) s'occupe de la distribution de gaz naturel, puis de son exploitation à partir de 1957, après la découverte du gisement de Lacq dans les Pyrénées-Atlantiques. Pour sécuriser son approvisionnement en gaz naturel, la France se lance aussi dans des partenariats avec les Pays-Bas, la Norvège, l'URSS et l'Algérie.

* **Charbonnages de France** (CdF) est également créé pour nationaliser l'industrie charbonnière française. En effet, le secteur, qui s'était bien relevé de la Première Guerre Mondiale dans les années 20, ne résiste pas à la seconde invasion allemande. De plus, le pétrole, bon marché durant la période d'après-guerre, a entraîné une diminution drastique de la consommation de charbon, à moins de 50 % des besoins énergétiques de la France. Il s'agit donc de fermer les sites déficitaires puis de reconstruire et moderniser les infrastructures minières dont dépendent encore d'importants secteurs d'activité comme les chemins de fer ou le chauffage.

La dépendance au pétrole de la France apparaît particulièrement problématique à la fin des années 50, dans un contexte de conflits géopolitiques opposant la France aux pays producteurs de pétrole, comme la crise de la nationalisation du Canal de Suez en 1956 ou la guerre d'indépendance d'Algérie de 1962, qui prive la France de l'exploitation des gisements pétroliers du Sahara découverts en 1956. Ainsi, l'idée de développer l'énergie nucléaire pour un usage civil se renforce.

⁹ <http://www.cea.fr/Pages/le-cea/histoire-creation-CEA.aspx>

c) L'engagement dans le nucléaire

Le premier réacteur nucléaire français, baptisé « G1 », est mis en service en 1955 par le CEA, à Marcoule (Gard). Censé servir à la fois la défense et le civil, il répond surtout à un usage militaire, en produisant le plutonium nécessaire à la bombe atomique. Sa capacité de production d'électricité, de 2 mégawatts (MW), s'avère en effet trop modeste. Deux autres réacteurs, nommés « G2 » et « G3 », d'une puissance de 40 MW chacun, sont mis en service respectivement en 1958 et 1960. Cette première génération de réacteurs nucléaires appartient à la filière dite graphite-gaz, pour Uranium Natural Graphite Gaz (UNGG), car ses réacteurs sont modérés au graphite et utilisent de l'uranium non-enrichi comme combustible. EDF commande alors un premier réacteur de ce type, EDF1, le premier réacteur électronucléaire à usage civil français qui sera mis en service, en 1963, au cœur de la centrale de Chinon. Deux autres réacteurs du même type le rejoindront en 1965 et 1966. Au total, 9 réacteurs à usage civil de ce type seront construits en France. En 1972, ils portent alors la puissance totale installée du parc nucléaire français à 2 084 MW.

En 1973, l'énergie nucléaire produit environ 8 % de l'électricité française, un pourcentage encore trop faible pour assurer l'indépendance et la souveraineté énergétique du pays. Or, un débat technologique se pose depuis quelques années entre la filière française, dite UNGG, du CEA, soutenue par le Général de Gaulle, car l'usage d'uranium naturel garantit l'approvisionnement de ce combustible, et celle des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), sous licence américaine, qu'EDF lui préfère. En 1969, Georges Pompidou choisira la filière américaine pour des raisons économiques.

Le choc pétrolier de 1973 conforte Georges Pompidou et son Premier ministre, Pierre Messmer, dans leur choix de miser sur l'électronucléaire, car le fioul représente près de la moitié de la production d'électricité. La nucléarisation massive de la France est lancée en 1974 à la suite du rapport de Michel d'Ornano¹⁰, qui prévoit la mise en service de 190 réacteurs à l'horizon 1990-2000, dont 20 à 40 de type Super Phénix. Le second choc pétrolier de 1978 renforcera encore cette conviction.

Ainsi, les quatre premiers réacteurs de 2^e génération, de la filière américaine REP, sont construits à partir de 1977, toujours sur le site d'Avoine (Chinon), puis mis en service, entre 1984 et 1988. Au total, 58 réacteurs à eau pressurisée sont construits entre 1977 et 1997, répartis sur 19 centrales en France. Le dernier à avoir été mis en service est celui de Civaux 2, raccordé au réseau en 1999.

En parallèle de l'implantation de l'énergie nucléaire en France, le gaz naturel se développera dans les années 90' en raison de son prix compétitif.

L'électronucléaire représente aujourd'hui près des $\frac{3}{4}$ de la production d'électricité en France (71 %).

¹⁰ Rapport d'information sur le nucléaire, Michel d'Ornano, novembre 1974, http://www.dissident-media.org/infonucleaire/rapport_ornano.pdf

1.2 La prise de conscience environnementale favorise l'émergence des EnR

a) L'émergence de la problématique des émissions de Gaz à Effet de Serre

Dans les années 1820, le Français Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830) est le premier scientifique à théoriser l'effet de serre, dans son ouvrage « *La Théorie analytique de la chaleur* » paru en 1822. En 1896, Svante Arrhenius (1859-1927)¹¹, un scientifique suédois, reprend une partie de ses travaux en se concentrant sur la relation entre le dioxyde de carbone et la température. Il est convaincu que la combustion des énergies fossiles entraîne un réchauffement climatique. Ces travaux précurseurs seront laissés de côté jusque dans les années 1970.

Dans la période post-mai 68, en parallèle du développement du nucléaire en France, une prise de conscience écologique commence à poindre au niveau des plus grandes instances internationales. En 1972, paraît le tout premier document de référence sur ce thème, le rapport Meadows¹² intitulé « *The limits to growth* », commandé par le Club de Rome. Ce rapport alerte sur l'épuisement des ressources naturelles. Au mois de juin de cette même année, a lieu à Stockholm, la toute première conférence des Nations Unies sur la question environnementale, à la suite de la Création du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Pour la première fois, les liens entre environnement et impératifs de développement économique sont examinés. Dès la fin des années 1970, les climatologues, dont Stephen Schneider (1945-2010), observent un réchauffement climatique qui serait lié aux émissions de CO₂ anthropiques, c'est-à-dire provoquées par les activités humaines, en particulier la combustion d'énergies fossiles. Dans les années 80, la courbe des températures augmente sensiblement. Les ONG environnementales, comme les Amis de la Terre, commencent à s'emparer des médias pour faire entendre leur voix et essayer de convaincre l'opinion d'un changement climatique imminent, qui aurait des conséquences dramatiques pour les générations futures.

Autre document de référence, le rapport Brundtland¹³, intitulé « *Notre avenir à tous* » est présenté devant l'Assemblée Générale de l'ONU à l'occasion de la Commission mondiale sur l'environnement le 4 août 1987. Ce rapport définit pour la première fois l'expression « sustainable development », qui sera maladroitement traduite en français par « développement durable »¹⁴. Selon ce rapport, le développement durable « *répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins* ». Cette expression, aujourd'hui largement galvaudée, sera popularisée à partir de juin 1992 à l'occasion du sommet de la Terre à Rio de Janeiro.

En 1988, la communauté scientifique acte que le climat se réchauffe à cause de l'activité humaine et de l'effet de serre. Pour établir des diagnostics fiables sur les climats futurs, l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), à savoir le Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), est créé sous l'égide du PNUE des Nations Unies et sous l'impulsion de Ronald Reagan et Margaret Thatcher qui craignent que l'expertise climatique ne soit monopolisée par des scientifiques écologistes partisans. Ce

¹¹ <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/svante-arrhenius-le-precurseur-de-leffet-de-serre-136386>

¹² Rapport Meadows, Club de Rome, 1972, <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>

¹³ Rapport Brundtland, ONU, 1987, http://www.ceres.ens.fr/IMG/pdf/rapport_brundtland.pdf

¹⁴ Ald « développement soutenable »

groupement réunit 2500 scientifiques du monde entier experts en climatologie, écologie, économie, médecine ou océanographie. Il s'agit du plus grand projet de coopération scientifique de l'histoire. Les experts rendent leur premier rapport en 1990, qui sera mis à jour en 1992 pour le sommet de Rio. Les rapports du GIEC, dont les conclusions font autorité, sont à l'origine de la plupart des politiques de transition énergétique actuelles. Ses travaux montrent que la température moyenne a augmenté de 0,9 °C entre 1901 et 2012, principalement sous l'effet de l'ajout de CO₂ et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère par les activités industrielles, les transports et la consommation d'énergie, en particulier la climatisation et le chauffage.

Les conférences internationales des Nations Unies pour le climat vont alors se succéder dans l'optique de mettre en place un plan de lutte contre le réchauffement climatique et les émissions de GES. En 1992, à l'occasion du sommet de la Terre de Rio de Janeiro, l'organisation mondiale des Nations unies crée un cadre d'action de lutte contre le réchauffement climatique regroupant la quasi-totalité des pays du monde : la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). À l'issue du sommet, la convention climat, qui vise à stabiliser les concentrations atmosphériques de GES à un niveau qui empêche toute perturbation humaine dangereuse du système climatique, est adoptée. Elle fixe les principes fondamentaux des négociations internationales concernant le climat et l'environnement : principe de précaution, pollueur-payeur et responsabilités communes, mais différenciées. Les pays signataires se réuniront désormais une fois par an lors des « Conférences of the Parties », les COP, qui seront organisées chaque année dans une ville différente. Ainsi, la COP1 a lieu à Berlin en 1995.

En 1997, lors de la COP3, est adopté le protocole de Kyoto, qui définit, pour la première fois, des objectifs légalement contraignants pour engager les pays industrialisés à réduire leurs émissions de GES de 5,2 % entre 1990 et 2012. Malgré la non-ratification initiale des trois pays les plus pollués, les États-Unis, la Chine et la Russie, le protocole finira par entrer en vigueur en février 2005, après l'adhésion tardive des Russes, et sera prolongé jusqu'en 2020¹⁵.

À la suite du 4^e rapport d'évaluation du GIEC, la COP15 de Copenhague, qui a lieu en 2009, fixe comme objectif la limitation de l'augmentation des températures globales moyennes à +2 °C, correspondant à une division par deux des émissions au niveau mondial d'ici 2050. Aucun accord ne sera trouvé, mais émerge la nécessité de contenir l'augmentation de la température en dessous de 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels ainsi qu'une implication financière accrue des pays développés.

Ainsi, la notion de transition énergétique naît, puis se développe, à la suite des chocs pétroliers des années 70. Revenue sur le devant de la scène dans les années 2000 avec l'augmentation du prix des énergies fossiles et la prise de conscience des changements climatiques, elle atteint son apogée en 2015 en France avec le vote de la loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV). Le concept se décline internationalement, mais n'a pas systématiquement de lien avec l'urgence climatique. Pour certains pays, dont les États-Unis, elle rime avec souveraineté énergétique et vise à réduire la dépendance aux importations d'hydrocarbures. Pour d'autres pays, l'objectif est la transition d'une économie

¹⁵ <https://www.gouvernement.fr/partage/8880-16-fevrier-2005-entree-en-vigueur-du-protocole-de-kyoto>

dépendante de la rente pétrolière vers de nouveaux modèles de revenus. Enfin, pour les pays émergents, elle est synonyme de développement économique.

En Europe, la transition énergétique garde un lien prégnant avec l'urgence climatique et se confond aisément avec la transition écologique. Les objectifs affichés de cette transition au niveau européen sont la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la promotion des énergies renouvelables et l'incitation à l'efficacité énergétique, masquant en creux toutes les problématiques d'approvisionnement et de souveraineté énergétique. C'est pourquoi malgré l'annonce d'un objectif commun, chacun des membres de l'Union Européenne déploie des stratégies différentes, les uns misant sur le nucléaire et les autres le bannissant.

b) Un mouvement antinucléaire influent

En parallèle de la prise de conscience écologique liée au réchauffement climatique, se développe un fort mouvement antinucléaire à travers le monde. Il émerge au sortir de la Seconde Guerre mondiale, aux États-Unis, après les bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki par les Américains en août 1945, qui firent entre 110 000 et 250 000 victimes. En France cependant, ces bombardements, loin d'être dénoncés par la presse, sont plutôt salués comme une avancée scientifique, susceptible de redonner à la France sa grandeur militaire. La fission n'était-elle pas en partie une invention française ? En 1950, le comité PEON, « Production électrique d'origine nucléaire », voit le jour. Il deviendra le siège du lobby nucléaire français, composé de hauts représentants de l'État, d'EDF, du CEA et des principales entreprises du secteur. En 1960 ont lieu les premiers essais nucléaires français en Algérie, qui dureront jusqu'en 1966, date à laquelle ils seront transférés en Polynésie française. Pendant toute cette période d'après-guerre, un profond consensus pronucléaire s'installe dans toutes les classes politiques françaises. Les rares contestations existantes sont motivées par l'antimilitarisme, mais elles sont désorganisées. Deux associations antinucléaires sont cependant créées au début des années 60. Le Mouvement contre l'armement atomique (MCAA) est créé en 1963 à la suite de la crise des missiles de Cuba, par le journaliste Claude Bourdet et l'académicien et biologiste Jean Rostand, avec le soutien du Parti Socialiste Unifié, seul parti politique défavorable au nucléaire. Surtout, l'Association de Protection contre les Rayonnements Ionisants (APRI), est créée en 1962 par Jean Pignero, l'un des premiers militants antinucléaires français. Première structure s'opposant au nucléaire civil, l'APRI préfigurera le mouvement écologiste des Verts et jouera un rôle important dans l'émergence du mouvement de Mai 68, mouvement qui lui-même amplifia les contestations antinucléaires au-delà de son utilisation militaire.

Dans les années 70, la politique pronucléaire de Georges Pompidou et Pierre Mesmer ne laisse pas beaucoup de place à la contestation. Pourtant, la lutte antinucléaire s'organise et prend de l'ampleur. Dès 1971, a lieu la première manifestation antinucléaire civile autour de la construction de la centrale de Fessenheim, suivie d'une seconde contre la centrale du Bugey. En mai 1975, commence alors une vague d'attentats antinucléaires, traduisant la radicalisation d'une large partie du mouvement. Il s'agit la plupart du temps de comités autonomes, composés de militants écologistes, de militants d'extrême gauche ou de gens simplement opposés à des projets nucléaires se développant près de chez eux. Ces mouvements sont souvent éphémères, n'existant qu'autour d'un projet précis. Une association les regroupant est tout de même créée en 1976 : la Coordination Nationale Antinucléaire (CNAN). Elle sera dissoute en 1984 après de nombreuses défections de ses membres au profit du parti politique des Verts fondé cette même année. En effet, en 1981,

le Parti Socialiste arrive au pouvoir, poursuivant contre toute attente le programme nucléaire engagé. Sous le premier septennat de François Mitterrand, plusieurs réacteurs ouvrent à un rythme soutenu, au grand dam des opposants au nucléaire qui avaient massivement appelé à voter en sa faveur. C'est ce qui incite les antinucléaires de gauche, comme Antoine Waechter ou Yves Cochet, à créer ce nouveau parti indépendant des Verts. Il disparaîtra en 2010 pour donner naissance à Europe Ecologie Les Verts (EELV).

En 2020, le mouvement antinucléaire français est porté par des associations telles que Greenpeace, WWF, les Amis de la Terre ou Sortir du Nucléaire, et bien sûr EELV. Leurs motivations restent les problèmes de sécurité et de sûreté que cette technologie implique en cas d'accident nucléaire grave, son coût de développement gigantesque, l'absence de solution pérenne pour la gestion des déchets radioactifs, et la dangerosité de l'arme nucléaire, tandis que, selon eux, l'uranium, en plus de nous rendre dépendants des pays extracteurs, est un matériau dont l'épuisement est attendu dans quelques décennies.

c) L'accident nucléaire de Fukushima, ou le basculement de l'opinion

Malgré un premier accident nucléaire en mars 1979 à Three Mile Island, Pennsylvanie, il faut attendre l'explosion d'un réacteur de la centrale de Tchernobyl, en Ukraine, en avril 1986, pour ébranler les certitudes des Français sur la question du nucléaire. L'exploitation par les opposants au nucléaire d'une fausse déclaration du Dr Pierre Pellerin, directeur du SCPRI¹⁶, sur le nuage radioactif qui se serait arrêté aux frontières, phrase qu'il n'a pourtant jamais prononcée¹⁷, y est pour beaucoup. Toujours est-il que Tchernobyl incarne la justification de la cause du mouvement antinucléaire civil, l'équivalent d'Hiroshima pour la bombe atomique. Cet événement aura de lourdes conséquences dans le monde et auprès des Nations Unies, où le rapport Brundtland « Notre avenir à tous », le texte fondateur du développement durable dont nous avons parlé plus haut, est rédigé en 1987. En France, à la suite de cet accident, Michèle Rivasi, actuellement députée européenne EELV, crée la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (CRIIRAD), sous la forme d'une association loi 1901, en mai de la même année. En décembre 1991, une loi relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs est votée. Cependant, la principale conséquence de Tchernobyl en France sera l'arrêt en 1997 du surgénérateur Superphénix¹⁸ par le Premier ministre de l'époque, Lionel Jospin, à la suite d'incidents techniques à répétition au cours de son exploitation. Il s'agira de l'évènement déclencheur de la création d'un réseau national pour la sortie du nucléaire, « Sortir du Nucléaire » créé en 1998, qui regroupe aujourd'hui plus de 900 associations.

Déjà en 2010, selon un rapport de l'OCDE¹⁹, qui se fonde sur les résultats des sondages Eurobaromètre et Globescan, l'électronucléaire est controversée par l'opinion publique en Europe et dans le monde. Il ressort de ces sondages que les personnes interrogées sont davantage préoccupées par les corollaires de l'énergie nucléaire que sont la gestion des déchets radioactifs, le terrorisme et la prolifération de la bombe atomique, que par

¹⁶ Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants

¹⁷ Mis en examen pour tromperie aggravée, il bénéficiera d'un non-lieu en 2012, <https://www.lefigaro.fr/flash-actu/2012/11/20/97001-20121120FILWWW00613-tchernobyl-le-pr-pellerin-innocente.php>

¹⁸ Cette centrale avait fait, depuis le tout début du projet, l'objet d'une très forte opposition, dont la répression entraînera le décès d'un militant, Vital Michalon, en 1977

¹⁹ Rapport sur l'opinion publique et le nucléaire, OCDE, 2010, <http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6860-opinion-publique.pdf>

l'exploitation des centrales en tant que telle. Le rapport insiste sur l'importance de faire de la pédagogie auprès des populations pour renforcer l'acceptation de l'électronucléaire.

L'accident de Fukushima, en mars 2011, portera le coup de grâce à l'énergie nucléaire en faisant nettement basculer l'opinion publique mondiale en faveur d'une sortie du nucléaire. Ainsi, dès septembre 2013, selon un sondage réalisé par l'institut BVA pour le journal Le Parisien²⁰, 53 % des Français se déclarent favorables à une sortie progressive du nucléaire.

1.3 L'essor de l'éolien industriel en France

a) Des débuts laborieux

Le développement de l'éolien moderne commence à la fin du XIX^e siècle avec la mise au point, aux États-Unis, de petites éoliennes de pompage de l'eau, ensuite implantées partout dans le monde. En France ce sont les sociétés Araou et Bonnet qui assurent leur importation. Les premières éoliennes produisant de l'électricité sont inventées en 1887 par le britannique James Blyth (1839-1906), ingénieur en électricité, puis en 1888 par le scientifique américain Charles F. Brush (1849-1929), pour alimenter l'éclairage de leur maison respective. Celle de Brush, composée de 144 pales, d'un diamètre de 17 mètres, est d'une puissance de 12 kW.

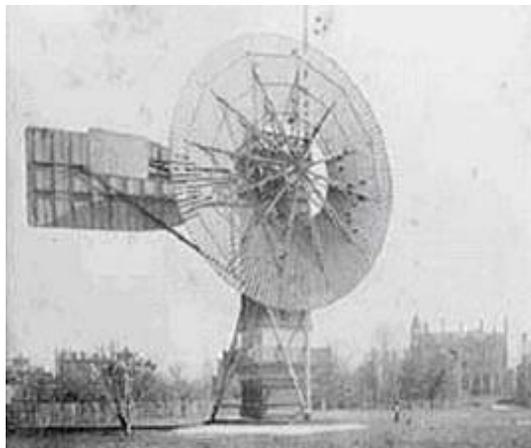


Figure 1 : Éolienne de Charles F. Brush

Deux ans plus tard, l'inventeur danois Poul La Cour (1846-1908) met au point la première éolienne industrielle permettant de fabriquer de l'hydrogène par électrolyse. En 1903, après avoir travaillé à divers prototypes, il fonde la Société d'Électricité Eolienne avec pour objectif d'aider à l'électrification des campagnes danoises grâce à son modèle Lykkegard dont il vendra 72 exemplaires.

²⁰ Sondage BVA pour Le parisien, septembre 2013, <https://www.leparisien.fr/environnement/53-des-francais-favorables-a-une-sortie-progressive-du-nucleaire-26-09-2013-3171731.php>



Figure 2 : Eolienne Askov de Poul La Cour – Source : <http://www.windsofchange.dk/>

L'entrée des aérogénérateurs dans l'ère moderne est cependant principalement due à l'essor de l'aéronautique, en France dès 1910 avec les travaux de Gustave Eiffel (1832-1923) et Auguste Rateau (1863-1930), et en Allemagne lors de la Première Guerre Mondiale. Ainsi, Louis Constantin²¹, ingénieur chez Levasseur, conçoit le premier prototype d'éolienne à partir d'hélices d'avion. Repartant de ces travaux, l'ingénieur français en aéronautique Georges Darrieus (1888-1979) développe entre 1927 et 1931 une éolienne à axe vertical, concept qui porte son nom. Son faible rendement rencontre peu d'engouement, la plus vaste expérimentation d'éoliennes de type Darrieus ayant eu lieu au Québec entre 1983 et 1992, au sein d'un parc nommé Éole, du nom du dieu grec du vent. Un coup de vent trop violent mit fin à l'expérience.



Figure 3 : Eolienne Darrieus au sein du parc Éole – Source : futura-sciences.com

Aux États-Unis, ce sont les aérogénérateurs individuels qui se développent à grande échelle à la même époque.

Dans les années 70 marquées par les chocs pétroliers, en parallèle du développement du nucléaire, la France s'engage dans la recherche sur les énergies dites de flux autres que l'hydraulique, qui fait déjà l'objet d'une exploitation industrielle à travers la construction de barrages et de centrales hydroélectriques. Les recherches se portent principalement sur le photovoltaïque. Le Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES) est créé en 1978, à l'origine de la centrale solaire à concentration Thémis, développée en partenariat avec le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) et EDF. Un autre centre de recherche privé,

²¹ Marc Rapin, Jean-Marc Noël, L'énergie éolienne, du petit éolien à l'éolien offshore, 3^e édition, Dunod, 2019

Photowatt²², est créé par l'entreprise Philips en 1979. Elle restera longtemps l'un des leaders mondiaux de la fabrication des panneaux photovoltaïques, avant de sombrer puis d'être rachetée par EDF en 2012. En dehors de l'énergie solaire, la géothermie est également étudiée via la création de l'organisme Géochaleur et d'un Comité Géothermie en 1974, sous tutelle du Ministère de l'Industrie.

En revanche, concernant l'énergie éolienne, l'une des premières énergies de flux qui ait pourtant été étudiée par EDF, les problèmes de fragilité, de coût de développement et de stockage apparaissent problématiques, si bien que son développement industriel est abandonné dans les années 60, au profit du pétrole à bas prix. Aucune nouvelle initiative n'est tentée en France avant les années 1990, d'autant que, dans les années 80, le succès du programme nucléaire fait passer les EnR au second plan. La crise pétrolière ravive en revanche l'intérêt d'autres pays pour l'éolien industriel, comme l'Allemagne ou les États-Unis, qui financent de vastes projets de recherche. Ces programmes aboutiront à de nouveaux designs d'aérogénérateurs, qui réduiront de façon significative le coût de l'énergie éolienne au cours des deux décennies suivantes.

En 1974, l'Agence pour les Économies d'Énergie (AEE) est créée, avec pour objectif de réduire le plus rapidement possible les importations françaises de pétrole. L'AEE est à l'origine du slogan « En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées »²³. En fusionnant notamment avec le COMES et le Comité Géothermie, l'AEE deviendra en 1982, l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME), future Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Beaucoup d'opposants au développement de l'énergie nucléaire civile du CEA et d'EDF sont détachés à l'AFME. Cette agence deviendra le plus important promoteur des énergies renouvelables en France en relançant, grâce à son soutien financier, d'importantes études sur l'énergie éolienne. Elle sera à l'origine, en 1982, du premier appel d'offres pour la construction d'une éolienne de moyenne puissance, remporté par Aérospatiale-Silat. Ce projet ne verra jamais le jour.

b) Un nouvel élan à la suite du rapport Brundtland

Le rapport Brundtland de 1987 contribue très largement à envisager différemment la croissance économique et à prendre en compte l'environnement dans la mise au point de nouvelles techniques. Il propose notamment de diminuer la consommation énergétique et de développer les énergies renouvelables. Dans son sillage, le sommet de la Terre de Rio de 1992 pousse encore plus loin le concept de développement durable en affirmant qu'il est possible d'associer l'environnement à la croissance économique, plutôt que de les opposer. L'idée d'une croissance verte commence à germer dans les esprits. En 1993, le programme ALTENER est créé par la Commission Européenne pour promouvoir les énergies renouvelables au sein de l'UE. Il permettra de financer 18 études concernant le potentiel des énergies renouvelables. Il prendra fin en 1996, à la veille du protocole de Kyoto.

Ce contexte favorable au développement des EnR relance les efforts de recherche technologique pour tenter d'améliorer l'existant. Grâce aux travaux du CNRS, des progrès notables sont faits en matière de stockage de l'énergie par batterie, posant les bases des futures batteries Lithium-ion. Les progrès réalisés en matière de design des éoliennes, ou

²² <http://www.photowatt.com/>

²³ <http://www.culturepub.fr/videos/agence-pour-les-economies-d-energie-on-n-a-pas-de-petrole/>

d'intégration de techniques issues, une nouvelle fois, de l'aviation, permettent de réenvisager une exploitation industrielle du vent. En 1989 est créée la Compagnie du Vent par Jean-Michel Germa, pionnier de l'énergie éolienne en France. La toute première éolienne industrielle française que la Compagnie installe dans l'Aude, à Port-La-Nouvelle, est raccordée au réseau EDF en 1991. De marque Vestas, elle bénéficie d'une puissance de 200 kW. Elle sera suivie de 4 autres éoliennes raccordées en 1993 au même parc.

En 1996, le premier programme national éolien, baptisé « Eole 2005 », est mis en place sous la présidence de Jacques Chirac. Son objectif est de développer un réseau industriel français grâce à l'installation de 250 à 500 MW de puissance éolienne à l'horizon 2005. 55 projets éoliens totalisant une puissance de 361 MW sont sélectionnés à la suite des appels d'offres lancés de 1996 à 1999, y compris en outre-mer. La majeure partie de ces projets ne verront jamais vu le jour, si bien que fin 2000, 13 fermes éoliennes seulement sont en services pour une puissance raccordées de 48 MW. Cela représente moins de 0,01 % de la consommation électrique française²⁴.

c) Le mécanisme d'obligation d'achat de l'électricité renouvelable

À partir du début des années 2000 et jusqu'en 2015, le principal outil de développement de la filière éolienne en France est le dispositif d'obligation d'achat de l'électricité renouvelable, instauré dans l'ensemble des pays d'Europe soucieux d'atteindre leurs objectifs en matière de développement d'énergies renouvelables. En France, « l'arrêté Yves Cochet » du 8 juin 2001 fixera les premiers tarifs de cette obligation d'achat. Celle-ci est mise en place dans le cadre de l'ouverture du marché de l'électricité à la concurrence, qui s'étalera de février 2000 pour les plus gros consommateurs professionnels d'électricité, à juillet 2007 pour les particuliers. Ce dispositif vise à contrer le manque de rentabilité des filières d'EnR, peu matures industriellement parlant, afin d'en faciliter le développement malgré leur faible compétitivité sur le marché.

En France, c'est la Loi de Modernisation et de Développement du service public de l'électricité qui met fin au programme Éole pour instaurer ce nouveau cadre au développement des énergies renouvelables. Ce dispositif, inclus dans l'article 314-1 du code de l'énergie français, oblige EDF ou les Entreprises Locales de Distribution à racheter la production d'électricité d'origine renouvelable à un tarif fixé par voie réglementaire, garanti 15 ans, à tout exploitant qui en fait la demande. Ces derniers ont ainsi l'assurance de pouvoir vendre leur production à un prix fixe, quelles que soient les conditions de marché. Or, ce prix garanti, évalué de manière à couvrir les coûts de production des éoliennes, est ensuite répercuté sur la facture des consommateurs par le biais d'une contribution proportionnelle à l'électricité qu'ils consomment, la Contribution au Service Public de l'Électricité (CSPE). L'arrêté tarifaire du 17 novembre 2008, resté en vigueur jusqu'à la fin 2015, a été le plus utilisé par les acteurs de la filière éolienne. Selon ce texte, un premier tarif d'achat de l'électricité était fixé à 8,2 c €/kWh pendant les dix premières années d'exploitation. Pour les cinq années suivantes, le tarif était révisé pour être dans une fourchette allant de 2,8 à 8,2 €/kWh, en fonction de la productivité du site²⁵.

²⁴ Source : SDES, Eurostat

²⁵ <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/les-politiques-de-soutien-en-france/>

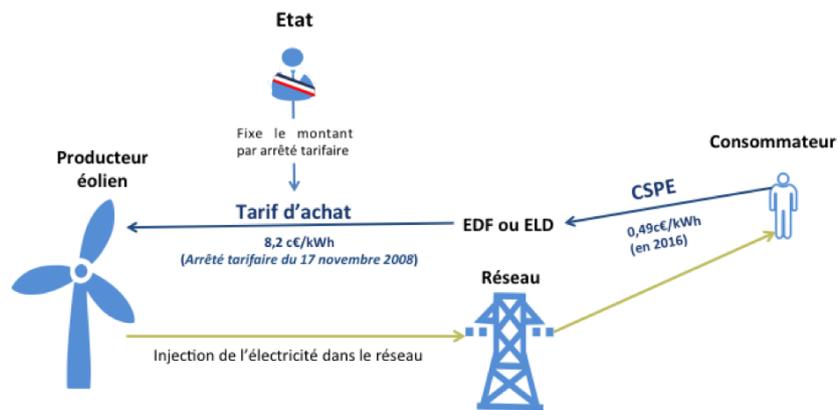


Figure 4 : Mécanisme d'obligation d'achat – Source : Observ'ER

Ce mécanisme sera revu en 2015 par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte pour donner lieu à un complément de rémunération dès 2016, visant à compenser l'écart entre les revenus tirés de la vente d'électricité et le niveau de rémunération de référence fixé selon le type d'installation dans le cadre d'un arrêté tarifaire. À partir de 2017, ce complément sera maintenu pour les petites installations tandis que les grands parcs feront l'objet d'appels d'offres pilotés par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE). Ce passage aux procédures d'appels d'offres intensifiera la concurrence entre les développeurs.

d) Une intensification des réglementations pour la filière éolienne

À partir de 2003, la loi « Urbanisme et habitat » stipule que l'installation de parcs éoliens comportant des éoliennes d'une hauteur supérieure à 12 mètres, est soumise à l'obtention d'un permis de construire. Les parcs dont la puissance totale excède 2,5 MW doivent désormais faire l'objet d'une étude d'impact environnemental et d'une enquête publique.

La loi du 13 juillet 2005, de Programmation des Orientations de la Politique Énergétique, dite loi POPE, est la première à chiffrer des objectifs de promotion des énergies renouvelables en France. Elle instaure les Programmes Pluriannuels d'Investissements (PPI) de production électrique qui fixent ces objectifs. La première, datant de 2006, prévoit pour l'éolien, l'atteinte d'une puissance raccordée totale de 13 500 MW d'ici 2010 et de 17 000 MW pour 2015 dont 4 000 MW en mer. La loi POPE met également en place les Zones de Développement Éolien, (ZDE), afin de faciliter l'implantation de parcs dans les territoires ayant un fort potentiel. La France grimpe alors au 9^e rang européen avec une production d'énergie éolienne de 1 TWh représentant 0,2 % de la consommation électrique nationale. En conséquence, la PPI de 2009 fixera un objectif plus ambitieux de 19 000 MW d'éolien terrestre et 6 000 MW d'éolien en mer pour 2020. La France occupera le 3^e rang européen en 2010, avec 10,51 TWh, soit 2 % de la consommation électrique nationale durant cette année.

En 2009 et 2010, les lois Grenelles 1 et 2 modifient à nouveau le cadre réglementaire de la filière. Les sites éoliens seront dorénavant soumis à un régime d'autorisation au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)²⁶. Les nouveaux sites devront comporter un minimum de cinq machines, placées à une distance d'au moins 500

²⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Installation_class%C3%A9e_pour_la_protection_de_l'environnement

mètres des habitations et éloignées des radars militaires. De nouvelles normes de nuisances sonores entrent également en vigueur. L'exploitant aura dorénavant à sa charge le démantèlement des éoliennes et la remise « en état » des paysages. Ces mesures restrictives dédiées à la protection de l'environnement auront pour conséquence un ralentissement du développement éolien dans les années 2011-2012, pendant lesquelles moins de 850 MW seront installés chaque année. Néanmoins, en 2011, le lancement des 4 premiers sites éoliens en mer²⁷ sera décidé. Leur mise en service initialement prévue pour 2020, a été décalée en 2022 au plus tôt. Ces parcs devraient représenter une puissance totale cumulée de près de 2 000 MW.

Pour relancer le développement de la filière, les professionnels du secteur exercent un important lobbying qui aboutira à la loi Brottes du 15 avril 2013. Celle-ci a pour vocation de simplifier les procédures administratives du secteur, en supprimant par exemple les ZDE et la règle des 5 éoliennes minimum. Elle met également en place une autorisation unique en matière d'ICPE dans 7 régions, afin de fluidifier les démarches administratives, mesure qui sera généralisée à tout le territoire dès novembre 2015.

En 2015, la production totale atteint 21,1 TWH soit 4,5 % de la consommation électrique nationale.

1.4 Le cadre réglementaire actuel

Au travers de cet historique, nous aurons compris que le développement des EnR, et de l'énergie éolienne en particulier, est intimement lié à des choix et soutiens politiques. Attachons-nous maintenant à étudier le cadre réglementaire actuel de cette énergie.

a) La Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (2015)

Votée le 17 août 2015, la Loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV)²⁸ vise à lutter contre le changement climatique tout en renforçant l'indépendance énergétique de la France. Elle place en tête des priorités de réduire les émissions de GES de la France de 40 % par rapport à 1990 d'ici 2030 et de les diviser par quatre entre 1990 et 2050, objectif désigné par l'appellation « facteur 4 ». Parmi les moyens d'action qu'elle prévoit, elle fixe l'objectif de pénétration des EnR dans la consommation finale brute d'énergie à 32 % en 2030. Elle prévoit également de porter la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025. En 2018, cet objectif sera décrété non tenable par le ministre de la Transition Ecologique, Nicolas Hulot, qui le reportera à 2035.

²⁷ Fécamp, Courseulles sur mer, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire

²⁸ LTECV, <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385>

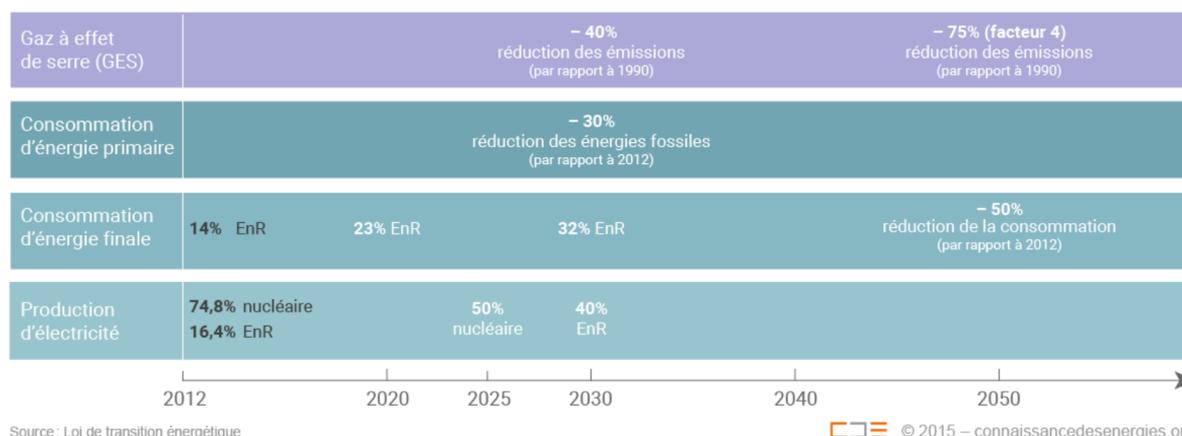


Figure 5 : Les grands objectifs de la loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte – Source : Connaissancecesenergies.org

Deux outils de suivi sont créés pour assurer la mise en œuvre de ces engagements : la stratégie nationale bas-carbone (SNBC)²⁹ et les Programmations Pluriannuelles de l'Énergie (PPE).

La **SNBC** se concentre sur l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 et sur la réduction de l'empreinte carbone de la consommation des Français, au moyen des budgets carbone, c'est-à-dire les plafonds d'émissions de GES à ne pas dépasser, issus des travaux du GIEC³⁰. La dernière en date a été adoptée en avril 2020. Elle prévoit de totalement décarboner la production d'énergie à l'horizon 2050, de réduire fortement la consommation d'énergie, de diminuer les émissions non liées à la consommation d'énergie et de développer les puits de carbone, outils de capture et de stockage naturels ou technologiques du CO₂.

Les Programmations Pluriannuelles de l'Énergie pilotent la politique énergétique française de façon à garantir la sécurité d'approvisionnement et le maintien d'un prix compétitif de l'énergie, lutter contre la précarité énergétique, ou encore favoriser l'émergence de filières industrielles françaises pourvoyeuses d'emplois. Concernant la production électrique, la loi favorise le développement des énergies renouvelables pour diversifier la production de la France et renforcer son indépendance énergétique. Les PPE fixent ainsi des objectifs quantitatifs de développement pour chaque filière renouvelable, sur une période de 10 ans, à l'exception de la première période prévue pour couvrir 2016-2023.

Dès 2016, la première PPE, sous l'impulsion de Ségolène Royal, ministre de l'Écologie, considère l'éolien terrestre comme une priorité et fixe des objectifs de développement ambitieux de 15 000 MW pour 2018 (500 MW pour l'éolien en mer) et jusqu'à 26 000 MW (3 000 MW pour l'éolien en mer) pour 2023. Pour ce faire, elle assouplit la réglementation, relançant la filière. C'est elle qui révisera le mécanisme d'obligation d'achat pour donner lieu à un complément de rémunération pour les petites exploitations et à une procédure d'appels d'offres pour les grands parcs.

²⁹ SNBC, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

³⁰ Résumé à l'intention des décideurs, GIEC, 2019, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf

En ce qui concerne l'énergie nucléaire, la LTCV plafonne la production installée à 63,2 GW, afin d'atteindre l'objectif de 50 % de la production d'électricité en 2035. La raison déclarée n'est pas la dangerosité du nucléaire, comme ce fut le cas en Allemagne, mais la nécessité de « diversifier de manière équilibrée les sources de production » et de réduire les « risques industriels majeurs ». La fixation de ce plafond implique un programme de fermeture de certaines centrales nucléaires. Le démantèlement de la plus vieille centrale nucléaire française à Fessenheim commence ainsi en février 2020. La liste des 14 réacteurs devant fermer dans les années à venir a été dévoilée³¹ par EDF en janvier 2020. En tout état de cause, la mise en service de la nouvelle centrale nucléaire de Flamanville ne pourra se faire que si les 2 réacteurs nucléaires de Fessenheim sont préalablement arrêtés.

Pour le président Hollande, cette loi doit « faire de la France une référence à la veille de la COP21 »³².

b) La 21 COP et l'Accord de Paris (2015)

En décembre 2015, la COP21 se réunit à Paris dans le but de ratifier un accord international de coopération sur le changement climatique. Signé par les 195 pays présents, l'Accord de Paris marquera un tournant. Il a pour objectif de limiter le réchauffement bien en deçà de 2 °C d'ici à 2100, et d'aboutir à la « neutralité carbone » ou le « net zéro », c'est-à-dire à un équilibre entre les émissions et les absorptions de GES au niveau mondial, d'ici la deuxième moitié du XXI^e siècle. En signant l'Accord de Paris, les pays s'engagent à enclencher la diminution de leurs émissions de GES dans les meilleurs délais. Cela implique des budgets carbone mondiaux nettement plus restreints qu'auparavant. Contrairement au protocole de Kyoto, aucun objectif contraignant n'est fixé, mais chacun des pays signataires définit ses propres engagements, une marge de flexibilité étant prévue pour les pays en voie de développement. Aucun système de sanction n'est envisagé non plus, mais les participants planifient de se réunir tous les 5 ans pour effectuer un bilan global et réviser les objectifs à la hausse. Chacun s'engage à être transparent les uns vis-à-vis des autres et vis-à-vis du public concernant les progrès réalisés et l'atteinte des objectifs fixés.

L'accord de Paris entre en vigueur le 4 novembre 2016. Les COP suivantes viseront essentiellement à harmoniser les actions et le calendrier de mise en application de l'Accord de Paris. Elles définiront également l'ensemble des dispositifs de transparence et organiseront les bilans quinquennaux, le premier devant avoir lieu en 2023. Elles auront respectivement lieu à Marrakech, Bonn, Katowice et Madrid. La COP26 qui devait avoir lieu en novembre 2020 à Glasgow sera reportée en 2021 en raison de la crise de la Covid-19.

c) La loi énergie-climat (2019)

La Loi Énergie-Climat³³, promulguée le 8 novembre 2019, entérine la politique climatique et énergétique de la France à mener pour répondre aux objectifs de l'Accord de Paris. Comportant 69 articles, elle inscrit notamment l'objectif de neutralité carbone en 2050 dans la loi et fixe le cadre des actions visant à diviser les émissions de GES par au minimum 6 d'ici

³¹ <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/nucleaire-edf-donne-la-liste-des-centrales-qui-vont-arreter-des-reacteurs-1164755>

³² <https://www.gouvernement.fr/action/la-transition-energetique-pour-la-croissance-verte>

³³ Loi énergie-climat du 8 novembre 2019, <https://www.vie-publique.fr/loi/23814-loi-energie-et-climat-du-8-novembre-2019>

2050. Parmi les axes qu'elle promeut, celui de sortir progressivement des énergies fossiles et de développer les énergies renouvelables est le plus important. Pour ce faire, elle prévoit :

- la réduction, par rapport à 2012, de 40 % de la consommation d'énergies fossiles d'ici 2030, contre 30 % précédemment, en fermant notamment les 4 dernières centrales à charbon d'ici 2022
- l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030, portée à 33 %, comme le prévoit la PPE
- la diminution à 50 % de la part de la production nucléaire dans le mix électrique d'ici 2035.
- le soutien à la filière hydrogène.

d) La dernière Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) d'avril 2020

La dernière PPE a été publiée le 23 avril dernier³⁴, à la suite d'une consultation publique des Français via internet. Elle couvre la période 2020-2028 afin de donner des orientations qui permettront d'atteindre une réduction de 50 % de la consommation d'énergie finale de la France d'ici 2050, en plus de la décarbonation massive des énergies consommées restantes.

Afin de tendre vers cet objectif, la PPE prévoit d'encourager la substitution d'énergies fossiles par des énergies « propres ». Cette baisse ne touchera pas toutes les énergies de la même façon : les consommations de charbon et de pétrole devront décroître significativement, tandis que le gaz, pouvant être substitué par du biogaz, diminuera dans de moindres proportions. Quant à l'électricité, elle restera relativement stable. En effet, si les consommations actuelles doivent être moins gourmandes à l'avenir, de nouveaux usages électriques devraient massivement se développer avec le recours au transport électrique notamment. Or, l'électricité n'est pas une énergie primaire. Cela signifie qu'elle nécessite une autre énergie pour la fabriquer. Si cette autre énergie est une énergie fossile carbonée, l'électricité consommée émettra des GES. Ainsi, les énergies faibles en carbone seront favorisées pour se substituer aux énergies fossiles.

Dans cette optique, la PPE prévoit de doubler, d'ici 2028, la capacité installée des énergies renouvelables électriques par rapport à 2017, ce qui représenterait une capacité installée de 101 à 113 GW, et jusqu'à 36 % d'énergie renouvelable dans la production d'électricité en 2028. Concernant l'éolien, les capacités installées seront augmentées de 50 % d'ici 2023. La rénovation de parcs existants arrivant en fin de vie, appelée le repowering, est un pilier majeur de cet objectif. Il permettra d'augmenter l'énergie produite tout en conservant un nombre de mâts identique ou inférieur à l'existant. Au total, le passage de 15 GW en 2018 à 33,2 GW en 2028 induira d'étendre le parc éolien actuel (8000 mâts fin 2018) à environ 14 500 mâts en 2028, soit une augmentation de 6500 mâts.

L'autre pilier du développement de l'énergie éolienne d'ici 2028 réside en l'éolien offshore. Au cours de la PPE, 7 projets devraient voir le jour, recréant ainsi une filière industrielle à la pointe. En effet, les champs flottants prévus en Bretagne et en Méditerranée seraient une première mondiale, autorisant la France à espérer devenir un leader dans ces technologies au potentiel de marché très important.

³⁴ PPE, avril 2020, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Synthe%CC%80se%20de%20la%20PPE.pdf>

Une autre tendance lourde se dégage de cette PPE, qui pourrait redessiner le paysage énergétique français. Il s'agit de la décentralisation de la production énergétique au cœur des territoires, voire directement chez les particuliers, grâce au développement massif du solaire photovoltaïque.

e) Le Pacte Vert pour l'Europe

Afin de clore cet empilement législatif, la Commission Européenne a dévoilé, le 11 décembre 2019, son Pacte Vert pour l'Europe, dont l'ambition est de faire de l'Europe le premier continent neutre pour le climat d'ici à 2050 et de réduire les émissions de gaz à effets de serre de 55 % en 2030. Présenté comme la priorité d'Ursula von der Leyen, la présidente de la Commission européenne, ce pacte devrait guider sa politique en matière d'écologie et d'environnement dans les prochaines années. Sa feuille de route prévoit notamment d'aboutir à la première législation européenne sur le climat. Un projet de loi a été présenté au Parlement Européen début mars. Il est pour l'heure suspendu aux décisions de l'après Covid-19. Ce pacte prévoit également un volet de stratégie industrielle afin de placer l'Europe à la pointe de la transition énergétique³⁵. Celle-ci mise sur les énergies marines, l'hydrogène et le recyclage pour conjuguer compétitivité et neutralité carbone³⁶.

f) L'encadrement administratif de tout projet éolien

Si beaucoup d'abus ont pu être constatés lors de l'installation des premiers parcs éoliens dans les années 2000, les projets de plus de 2,5 MW sont aujourd'hui encadrés par des procédures administratives strictes et suivies par différents organismes étatiques comme les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), les Agences régionales de santé (ARS), les Directions de la prévention des risques (DGPR), ou les Directions générales de l'énergie et du climat (DGEC) et bien sûr l'ADEME. Toutes ces démarches sont simplifiées, pour les porteurs de projet éolien comme pour les organismes étatiques, par l'instauration de l'Autorisation Unique qui englobe toutes les étapes de la démarche : autorisation ICPE, autorisation de défrichement, demande de raccordement au réseau RTE, etc. Pour les éoliennes, l'autorisation environnementale dispense maintenant de permis de construire.

La principale démarche réside dans l'étude d'impact, réalisée la plupart du temps par des bureaux d'études sous la responsabilité du maître d'ouvrage du projet. Ses objectifs sont de mesurer les effets potentiels ou avérés sur l'environnement du projet éolien et de justifier les choix retenus au regard des enjeux identifiés sur le territoire du projet. Elle prend notamment en compte le milieu naturel et le patrimoine culturel qui entoureront le futur parc, ainsi que les nuisances sanitaires qui pourraient rejaillir sur la population.

Une autre étape importante de la démarche est l'enquête publique, réalisée par la Préfecture et les communes concernées par l'implantation du parc. Il s'agit d'informer le public des modalités d'implantation du futur parc éolien puis de recueillir les commentaires et suggestions des futurs riverains. Cette procédure officialise la concertation locale.

³⁵ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_416

³⁶ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/Strategie-industrielle-europe-eolien-hydrogene-recyclage-matieres-climat-environnement-35130.php4>

1.5 Les EnR dans le mix électrique français actuel

a) La production française d'électricité

Le cadre réglementaire que nous venons de décrire a abouti au développement des énergies renouvelables en France, qui représentent désormais plus de 21 % de la production électrique française en 2019. C'est l'hydraulique, avec une part de plus de 10 % de l'électricité produite, qui est la première source d'électricité « verte » en France. L'éolien, en forte hausse, arrive au deuxième rang des EnR avec plus de 6 %. La troisième place revient au solaire avec seulement 2,2 % de l'électricité produite.

En 2019, la production électrique de la France s'élève à 537,7 TWh répartie entre 70,6 % de nucléaire, 11,2 % d'hydraulique, 7,9 % de fossile, 6,3 % d'éolien, 2,2 % de solaire et 1,8 % de bioénergies. En ce qui concerne l'électricité, la France est donc très largement dépendante du secteur nucléaire.

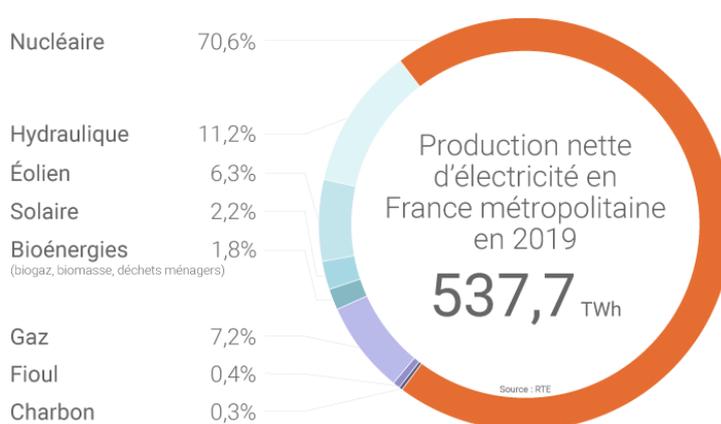


Figure 6 : Production nette d'électricité en France métropolitaine – Source : Bilan RTE 2019

D'après le Réseau de Transport d'Électricité (RTE)³⁷, la France compte aujourd'hui :

- * 57 réacteurs nucléaires opérationnels répartis sur 19 centrales qui représentent 41 % de la capacité totale d'énergie. Le parc nucléaire français est le deuxième au monde après celui des États-Unis.³⁸
- * 8 centrales à charbon et 18³⁹ centrales à gaz ou gaz combiné. En conformité avec la PPE et les normes environnementales, le parc thermique français à combustible fossile a fortement diminué, à la suite de la fermeture de nombreuses centrales à charbon. Leur disparition définitive, ainsi que celle des turbines à gaz, est prévue pour 2023.
- * 2 500 installations hydrauliques, dont 90 % de centrales au fil de l'eau, sont présentes sur l'ensemble du territoire. Elles produisent 11 % de l'électricité française⁴⁰.
- * Près de 8500 éoliennes. Le parc éolien français, en constante augmentation, est le quatrième parc éolien d'Europe en termes de puissance, derrière ceux de l'Allemagne,

³⁷ RTE, Bilan Electrique 2019, janvier 2020, <https://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan-electrique-2019>

³⁸ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/parc-nucleaire-francais>

³⁹ <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-thermique-a-flamme-en-chiffres>

⁴⁰ <https://www.france-hydro-electricite.fr/lhydroelectricite-en-france/chiffres-clefs>

de l'Espagne et du Royaume-Uni. 3 régions totalisent 60 % de la production française : Grand Est, Hauts de France et Occitanie.

- * Plus de 430 000 unités de production photovoltaïque installées, dont 12 700 installations supplémentaires en 2019. La grande majorité sont d'une puissance inférieure à 9KW⁴¹.

En 2019, la capacité de production d'électricité installée en France représente 135,3 GW, en augmentation de 2,3 GW par rapport à l'année précédente. Cette augmentation est essentiellement due au développement des filières éolienne et solaire, comme le prévoit la PPE. En revanche, la production a baissé de 2 % par rapport à 2018, passant, selon RTE, de 548,6 TWh à 537,7 TWh en 2019. Néanmoins, malgré ce recul, la France demeure le premier exportateur européen d'électricité avec 84 TWh exportés contre 28,3 TWh importés en 2019.

Malgré une augmentation temporaire, cette année, de la production électrique thermique liée à l'indisponibilité momentanée de certaines centrales nucléaires, pour raison de visites décennales par exemple, le secteur thermique est en fort déclin sur le long terme. La production électrique issue de centrales à charbon a ainsi chuté de 72 % en 2019.

b) La consommation électrique en France



Figure 7 : Consommation finale d'électricité en France – Source : Bilan électrique 2019, RTE

En France, selon l'AIE, la consommation d'électricité est la plus importante d'Europe, représentant un quart⁴² de la consommation finale⁴³ d'énergie du pays. En raison de la prédominance du nucléaire dans le mix énergétique français, la consommation d'électricité par habitant est vivement encouragée. Durant les années 70, le chauffage électrique se substitue au fioul dans les logements neufs, dont la proportion est multipliée par 5. Dans les années 80, la consommation d'électricité continue à progresser avec l'arrivée massive d'une nouvelle génération d'appareils ménagers électriques, tels les lave-vaisselle, fours à micro-ondes, réfrigérateurs, sèche-linge, magnétoscopes, etc. Dans les années 90, la consommation ralentit quelque peu avec le développement des chaudières à gaz en lien avec la chute des prix du gaz naturel. Cependant, la démocratisation des ordinateurs, l'apparition des téléphones portables et l'essor des consoles de jeux vidéo font repartir la consommation électrique des ménages à la hausse dans les années 2000, d'autant que l'augmentation du prix des énergies fossiles, liée à la guerre en Irak, donne un nouvel élan au chauffage électrique dans les constructions neuves.

Depuis une dizaine d'années, la consommation française d'électricité se stabilise. Cela s'explique essentiellement par une meilleure efficacité énergétique des bâtiments et des équipements, par le ralentissement de la croissance économique et de la démographie ainsi

⁴¹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/171>

⁴² <https://www.encyclopedie-energie.org/lelectricite-mix-energetique-mondial/>

⁴³ L'énergie finale est l'énergie qui est utilisée afin de satisfaire les besoins des êtres humains. Elle peut être directe, si elle est consommée au cours d'un usage domestique (se chauffer, travailler sur son ordinateur, se déplacer en voiture), ou indirecte si elle est utilisée dans la production de biens ou de services destinés à la consommation.

que par la « tertiarisation » des activités économiques, beaucoup moins énergivores que l'industrie.

De nos jours, la plus grosse part de la consommation finale d'électricité incombe au secteur des entreprises et des professionnels (47 %), suivi du secteur résidentiel (36 %) puis de l'industrie qui représente 17 % de la consommation totale.

Cette consommation électrique varie tout au long de l'année en intensité et en usage sous l'influence des températures et de l'activité humaine et économique :

- Utilisation du chauffage électrique en hiver pour le secteur résidentiel
- Baisse de consommation pendant les vacances scolaires et les fêtes de fin d'année dans le secteur tertiaire et dans celui de l'industrie.

c) La révision du mix énergétique au profit des EnR à horizon 2025

Grâce aux décisions politiques qui ont été prises en faveur de la réduction de la consommation d'énergies fossiles et du développement de l'énergie nucléaire pour faire face aux chocs pétroliers des années 70, puis en faveur des EnR dans les années 2000, la France se place aujourd'hui au 2^e rang des pays développés dont l'économie est la moins carbonée, derrière la Norvège.

Jusqu'au début des années 2000, la diminution des émissions de CO₂ dans la production d'énergie française est la conséquence directe de l'extension de la production énergétique nucléaire, loin devant le développement des énergies renouvelables et la baisse de la part des énergies.

À partir de 2010, la part du nucléaire se stabilise dans le mix énergétique français, mais la baisse des émissions de CO₂ se poursuit grâce au développement des énergies renouvelables dont le déploiement s'accélère à partir de 2005 avec l'essor des biocarburants, des pompes à chaleur et de l'éolien. Entre 2012 et 2018, la contribution des énergies renouvelables à la baisse des émissions de CO₂ est estimée à 5 %.

Les énergies fossiles engendrent également une baisse des émissions de GES grâce à l'accroissement de l'utilisation, dans certains secteurs, du gaz naturel au détriment du charbon ou du pétrole. En effet, le gaz naturel rejette 2,5 fois moins de CO₂ que le charbon et 1,7 fois moins que le pétrole pour une même quantité d'électricité produite⁴⁴.

Les nouvelles orientations prises dans le cadre de la loi Énergie-Climat de 2019, en faveur de la réduction par 6 des émissions de GES, conduisent à devoir fermer des centrales à charbon ainsi que les deux réacteurs de la centrale nucléaire de Fessenheim soit près de 5 GW de production électrique. Cette décision de fermetures de centrales de production « pilotable »⁴⁵ prend effet dans un contexte complexe pour le mix énergétique français.

En effet, la production électrique française va devoir surmonter plusieurs difficultés parmi lesquelles les reports multiples de la mise en service de l'EPR de Flamanville désormais fixé à

⁴⁴ Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France, RTE, 2019, https://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan_previsionnel_19-20.pdf

⁴⁵ Pilotable = apte à s'adapter à une demande changeante

2024⁴⁶, et un programme de maintenance et de réinvestissement massif concernant le parc de centrales nucléaires occasionnant des arrêts de longue durée. Cette pénurie potentielle d'électricité pilotable pourrait se voir aggravée par l'engagement concomitant des pays de l'Union Européen dans des programmes du même type.

Ainsi, il apparaît que le niveau d'approvisionnement devrait être assuré jusqu'en 2022, malgré les fermetures prévues, grâce à la mise en service de la centrale à gaz de Landivisiau et de deux nouvelles interconnexions avec l'Italie et le Royaume-Uni, et au respect de la trajectoire de développement de l'éolien terrestre.

À partir de 2022 en revanche, le programme français de maintenance nucléaire, ainsi que l'arrêt définitif de la production nucléaire en Allemagne et la fermeture de centrales à charbon dans de nombreux pays européens, entraînent d'importants risques pour les approvisionnements en énergie électrique. Cette période périlleuse devrait être transitoire et s'achever entre 2023 et 2025, sous réserve notamment de la mise en service de l'EPR de Flamanville.

Toujours selon le bilan prévisionnel RTE concernant le mix électrique à l'horizon 2025, la production issue des énergies renouvelables devrait plafonner à 30 % en deçà des objectifs de la PPE, malgré un fort développement de la capacité du photovoltaïque, qui devrait tripler, et de celle de la filière éolienne, qui devrait doubler, ce qui la placerait au premier rang des EnR ex-aequo avec l'hydraulique.

Enfin, toujours selon RTE, à cette date, le mix électrique français, déjà parmi les plus décarbonés, devrait encore voir ses émissions de CO₂ baisser, les portant à 10 mégatonnes (MT) par an soit trois fois moins qu'en 2010 et deux fois moins qu'en 2018.

Intéressons-nous maintenant en détail à l'énergie éolienne.

⁴⁶ https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/05/26/nucleaire-nouvelle-procedure-contre-l-epr-de-flamanville_6040764_3234.html

PARTIE 2/L'ÉNERGIE ÉOLIENNE, LA MEILLEURE DES EnR ?

Nous avons vu que le cadre réglementaire de l'énergie, découlant d'un contexte historique prégnant, tend à favoriser largement la part des EnR dans le mix énergétique français et européen. Or, l'énergie éolienne figure en tête des énergies à développer en priorité pour atteindre les objectifs bas carbone visés. Il nous apparaît légitime de se demander ce que revêt réellement cette forme d'énergie ? Est-elle le choix le plus judicieux parmi les EnR ? Et quel est son bilan détaillé, en matière de rentabilité énergétique, d'économie, mais également d'enjeux sociétaux et sanitaires ?

2.1 Qu'est-ce qu'une énergie renouvelable ?

a) Des énergies de flux aux EnR

L'appellation d'« énergie renouvelable », dites EnR, s'impose progressivement dans les années 90 pour désigner les énergies primaires de « flux », c'est-à-dire issues d'une source intarissable comme le vent, l'eau ou le soleil. Elles s'opposent aux énergies « de stock », produites à partir du prélèvement d'une ressource sur une réserve qui, à terme, s'épuisera, à l'instar du charbon, du gaz naturel, du pétrole et même de l'uranium.

Premières sources d'énergie à avoir été utilisées par les hommes, elles seront pourtant désignées comme « nouvelles » dans les années 70, avec la création tout début 1975 de la Délégation aux Énergies Nouvelles, premier institut public en charge de ces énergies. Selon Alain Liébard, président de l'Observatoire des énergies renouvelables jusqu'à fin 2014, son objectif réel s'avérera d'infiltrer les antinucléaires français afin de mieux les combattre⁴⁷.

Ainsi, sont considérées comme des énergies renouvelables la biomasse, l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie marémotrice ou la géothermie. À noter que le lobby nucléaire⁴⁸ œuvre à ce que cette énergie soit aussi considérée comme « durable », considérant que les avancées technologiques atteintes par le nucléaire de 4^e génération permettraient de se passer de l'importation de nouveau combustible.

Les EnR sont des énergies primaires, c'est-à-dire disponibles dans la nature avant toute transformation. Elles sont divisées en deux sous-ensembles : les EnR thermiques (EnRT) et les EnR électriques. Les EnR thermiques regroupent les filières pour lesquelles l'énergie est produite sous forme de chaleur. Elles peuvent également être converties sous forme d'électricité ou de force motrice notamment. Leurs sources sont le bois de chauffage, la géothermie, la chaleur solaire, les déchets (bois, récoltes, urbains ou industriels biodégradable), le biogaz, les biocarburants ou les pompes à chaleur. Quant aux EnR électriques, elles correspondent aux filières de production primaire d'électricité : éolienne, hydraulique (hors Stations de Transfert d'Énergie par Pompage), marémotrice ou photovoltaïque.

Concentrons-nous maintenant sur les EnR électriques.

⁴⁷ Pour Mémoire n° 15, 2015, p.30, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/PM_-_15.pdf

⁴⁸ <https://www.sfen.org/nuclear4climate/combustible-nucleaire-ressource-infinie>

b) L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est la première énergie renouvelable qui ait été industrialisée en France, dès la fin du 19^e siècle. Il s'agit d'utiliser la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité. L'hydroélectricité exploite la force de l'eau provenant de chutes d'eau (barrages et centrales-lacs) ou du débit des fleuves et des rivières (centrales au fil de l'eau ou centrales-écluses)⁴⁹. Il existe deux sortes de centrales hydrauliques : les centrales gravitaires dédiées à la production d'électricité et les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) qui, en plus de produire de l'électricité, servent de variable d'ajustement de la production électrique grâce à leur capacité de stockage de l'eau.

D'un point de vue environnemental, l'énergie hydraulique bénéficie d'un bilan carbone très positif lors de la production d'électricité. En revanche, son impact sur l'écosystème est très prégnant.

Selon la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), l'énergie hydraulique est la moins chère des énergies renouvelables. Son coût moyen se situe entre 15 et 20 € le MWh.

Au niveau mondial, l'hydroélectricité est la première source d'énergie renouvelable, représentant 16 % de l'électricité produite, soit la troisième source de production électrique derrière le charbon et le gaz. En France, l'énergie hydraulique représente 11 % de l'énergie électrique produite, ce qui en fait la deuxième source d'énergie électrique derrière le nucléaire. La France est le premier pays de l'Union Européenne en matière de capacité hydroélectrique installée, soit 25 554 MW en 2019. Cette filière est importante pour le système électrique français, notamment en ce qui concerne l'équilibre et la sécurisation du réseau. Les installations françaises sont à 95 % des concessions attribuées par l'État pour 75 ans dont plus de 80 % sont attribuées à EDF. Les installations ont un âge moyen de 60 ans et les enjeux des 15 ans à venir seront les choix de renouvellement de concession selon des critères économiques, écologiques et énergétiques dans un marché européen de l'énergie maintenant ouvert à la concurrence.

c) L'énergie marémotrice

L'énergie marémotrice utilise les écarts de hauteurs entre marée haute et marée basse, à savoir le marnage, pour produire de l'électricité. Elle ne doit pas être confondue avec l'énergie hydrolienne qui utilise la force du courant marin. Les usines marémotrices sont installées dans les zones littorales à fort marnage⁵⁰. Elles sont constituées d'un barrage, situé sur un bras de mer, retenant dans un bassin un volume important d'eau qui, grâce au flux de l'eau pendant le remplissage ou la vidange du bassin, entraîne des turbines dites « de basse chute ».

Cette énergie, bien qu'intermittente, est très prédictible grâce à la connaissance du phénomène des marées. L'ajout d'un deuxième bassin artificiel plus bas que le niveau de la mer permet d'allonger les plages de production électrique. En conjuguant turbinage et pompage, une centrale marémotrice peut ainsi constituer un moyen de stockage de production.

⁴⁹ <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-hydraulique>

⁵⁰ Grandes amplitudes de marées

Cette source d'énergie n'émet pas de gaz à effet de serre, en dehors de la construction du barrage. En revanche, elle a un fort impact environnemental, car elle perturbe l'écosystème en amont et en aval du barrage. Ses coûts de production restent néanmoins très élevés.

La France a été pionnière en énergie marémotrice avec l'inauguration dès 1966 de l'usine marémotrice de la Rance, près de Saint-Malo. Le site de la Rance est connu pour bénéficier de l'une des plus grandes amplitudes de marées au monde.

L'énergie marémotrice représente 1,5 % à 2 % de la production électrique mondiale annuelle.

d) L'énergie solaire

L'énergie solaire exploite le rayonnement du soleil pour deux usages : la production de chaleur, grâce à l'énergie solaire thermique, et la production d'électricité par le biais de l'énergie solaire thermodynamique et de l'énergie photovoltaïque. L'électricité thermodynamique est générée à partir d'énergie solaire thermique tandis que l'énergie photovoltaïque transforme le rayonnement solaire en électricité grâce à des panneaux solaires. Les photons solaires sont convertis en courant électrique continu par l'intermédiaire de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. La production électrique est proportionnelle à la luminosité et est plus ou moins optimale selon la chaleur, le rendement idéal étant obtenu autour de 25 °C.

Ce mode de production ne nécessitant pas de raccordement au réseau pour fonctionner, il est très modulable et il peut alimenter aussi bien une maison individuelle qu'une industrie. Inépuisable à l'échelle humaine et non productrice de gaz à effet de serre, l'énergie solaire semble avoir vocation à jouer un rôle essentiel dans la transition énergétique face aux questions environnementales actuelles. D'une durée de vie d'environ 30 ans, les panneaux solaires sont quasiment intégralement recyclables. En revanche, ils nécessitent des matières premières abondantes pour leur fabrication. Ainsi, l'impact environnemental et énergétique de la production des panneaux photovoltaïques en silicium nécessite un an d'utilisation minimum pour être compensé. De plus, leur fragilité reste une problématique majeure en cas d'intempéries.

Malgré une baisse des coûts conséquente ces dernières années, cette technologie reste encore onéreuse face aux autres moyens de production électrique. De plus, leur faible rendement n'a augmenté que de 5 % en 10 ans pour atteindre seulement 17 % aujourd'hui. À ces écueils s'ajoute celui de l'impossibilité de stocker cette forme d'énergie primaire.

Néanmoins, des projets de centrales électriques naissent dans le monde entier. Des chercheurs du CEA et du CNRS ont calculé que l'utilisation de 5 % de la surface des déserts permettrait de produire assez d'électricité pour couvrir les besoins de la planète entière.

Selon l'AIE (Agence Internationale de l'Énergie), le solaire photovoltaïque représente 60 % de la croissance attendue des énergies renouvelables d'ici 2024, suivi de l'éolien terrestre avec 25 %. Toujours selon une estimation de l'IAE, cette source d'électricité pourrait représenter, d'ici 2050, de 20 % à 25 % de la production mondiale d'électricité.

e) La biomasse, ou la bioénergie

La biomasse est l'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme depuis la découverte du feu au cours de la préhistoire. Elle désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale pouvant être transformées en énergie. Il existe 3 types de biomasse selon qu'elles sont solides (bois, paille), liquides (huiles ou bio alcools) ou gazeuses (biogaz). Cette source d'énergie abondante est issue de la dégradation des matières vivantes par photosynthèse. La biomasse peut être utilisée pour produire de la chaleur, de la force motrice ou de l'électricité, selon le procédé employé pour l'exploiter. Pour produire de l'électricité, les procédés sont la combustion de bois, de végétaux ou de déchets, ainsi que la méthanisation du biogaz, issu de la fermentation de ces matières⁵¹.

En termes de bilan environnemental, la biomasse est considérée comme une énergie renouvelable sous réserve que son niveau de consommation reste en dessous du temps de régénération des stocks. Elle émet alors peu de polluants et n'a pas d'impact sur l'effet de serre, car la quantité de CO₂ émis par la combustion des bioénergies est compensée par la quantité de CO₂ que les végétaux absorbent pendant leur croissance. De plus, la transformation du biogaz en électricité permet la captation du méthane, un autre GES, émis par les décharges.

Le coût du MW produit par cette filière est estimé entre 97 et 139 €/MWh. Ce fort écart est dû à la disparité des combustibles et moyens de production de cette forme d'énergie.

En France, en 2019, la biomasse atteint une puissance installée de 2 122 MW, couvrant 1,6 % de l'électricité consommée⁵². La biomasse représente 1,9 % de la production électrique mondiale.

f) La géothermie

La géothermie⁵³ exploite la chaleur du sous-sol terrestre pour produire de l'énergie. Principalement dédiée au chauffage, la géothermie, à l'instar de l'énergie solaire thermique, est capable de produire de l'électricité, surtout dans des régions volcaniques. En revanche, son potentiel est très largement sous exploité en France. Elle reste donc très marginale dans le mix actuel. C'est la raison pour laquelle nous ne la développerons pas plus.

La dernière catégorie d'EnR est bien sûr l'énergie éolienne que nous allons détailler dans le chapitre suivant.

⁵¹ <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-la-biomasse>

⁵² <https://www.connaissancedesenergies.org/afp/les-renouvelables-ont-fourni-23-de-la-consommation-electrique-en-2019-200206>

⁵³ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/geothermie>

2.2 Et l'énergie éolienne dans tout ça ?

a) Des conditions d'exploitation favorables

Héritières des moulins à vent, les éoliennes industrielles, également appelées aérogénérateurs, utilisent la force du vent pour la transformer en électricité. Il existe deux modes d'exploitation de l'énergie éolienne, l'une « onshore » avec des installations terrestres et l'autre « offshore » à savoir en mer. À ce jour, seul l'éolien terrestre est réellement exploité en France.

Selon le Global Wind Energy Council (GWEC), la France est dotée d'un fort potentiel de vent, puisqu'elle possède le second gisement de vent européen derrière les îles britanniques, et 3 500 km de côtes en France métropolitaine. Elle bénéficie de surcroît d'au moins trois régimes de vent complémentaires – méditerranéen, atlantique et continental – répartis sur plusieurs zones géographiques dont les plus favorables sont la façade de la Vendée à la Mer du Nord, la côte languedocienne et la vallée du Rhône. Cette diversité offre à la France une production éolienne plus régulière que celle d'autres pays européens, ces trois régimes de vent étant rarement au calme plat au même moment. La France possède également la zone maritime la plus large du monde après celle des États-Unis, avoisinant les 11 millions de km² grâce à ses DOM-TOM, le territoire maritime de l'Hexagone représentant 334 604 km².

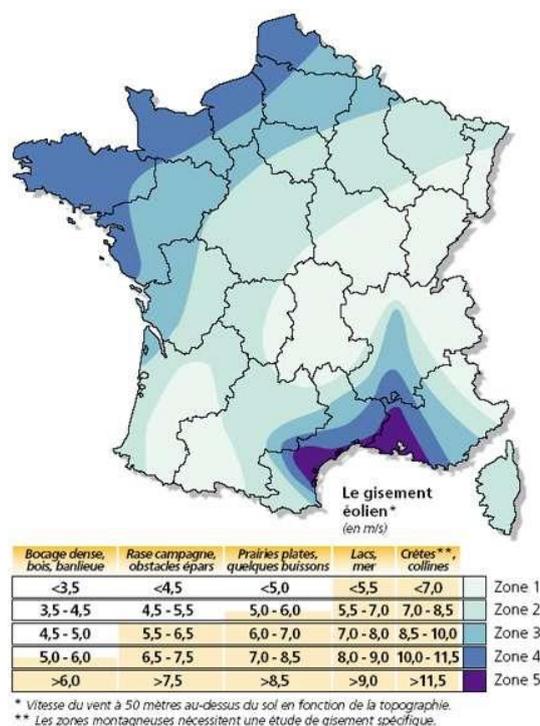


Figure 8 : Les gisements de vents en France – Source : European Wind Atlas et ADEME

Ainsi, le potentiel de l'énergie éolienne en France est estimé à 156 TWh par an (66 TWh sur terre et 90 TWh en mer), soit un peu plus d'un quart de la production annuelle d'électricité, estimée autour de 550 TWh.

Réputée propre, l'énergie éolienne ne produit pas de gaz à effet de serre en phase d'exploitation. Parmi les énergies renouvelables, elle est considérée comme une technologie

mature, et la plus économique après l'hydroélectricité. Ainsi, au-delà des questions économiques et environnementales, elle est au cœur des stratégies de diversification des mix électriques et d'indépendance énergétique de nombreux pays.

b) Le fonctionnement d'une éolienne terrestre

Une éolienne se compose :

- d'un **rotor**, partie rotative placée en hauteur afin de capter le vent, doté de **pales**, en général au nombre de 3, fabriquées en matériau composite et mesurant de 25 à 60 m,
- d'une **tour**, composée d'un **mât**, d'un système de commande électrique et d'un transformateur. Le mât mesure de 50 à 130 m de haut pour un diamètre compris entre 4 et 7 m. Il supporte une **nacelle** qui abrite notamment un générateur de courant continu ou alternatif qui transforme l'énergie mécanique ainsi créée en électricité. Il est relié au réseau électrique ou à un système autonome comprenant un générateur d'appoint tel qu'un groupe électrogène ou des batteries.
- d'une **base** en béton armé.

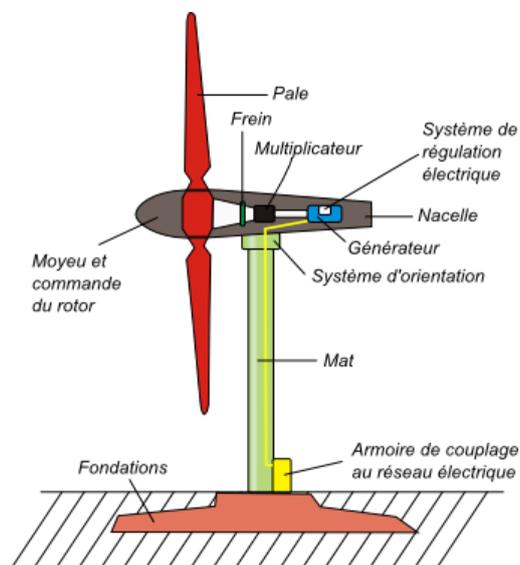


Figure 9 : Schéma d'ensemble d'une éolienne – Source : Vikidia

L'énergie produite dépend de 3 paramètres : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et la densité de l'air. La vitesse du vent doit être comprise entre 12,6 km/h et 90 km/h. Au-delà, les éoliennes pourraient être endommagées. La production optimale est obtenue avec une vitesse de vent de 43 km/h. Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute⁵⁴.

⁵⁴ L'énergie éolienne, ADEME, novembre 2012, https://ademe.typepad.fr/files/guide_ademe_energie_eolienne-1.pdf

c) Les différents types d'éoliennes terrestres

En matière de technologie, la plupart des éoliennes sont dotées de 3 pales orientables à axe horizontal. Cette configuration représente un bon compromis entre rendement, contraintes de fonctionnement et coûts de fabrication. Il existe également des éoliennes à axe vertical, de type Darrieus, plus adaptées au petit éolien. Leur rendement est moins bon, mais elles permettent d'exploiter des vents faibles.

L'industrie éolienne est subdivisée en deux typologies d'installation : le « grand éolien » et le « petit éolien ».

Le « **grand éolien** » désigne les grands aérogénérateurs, d'une puissance de 2 à 3MW, dont le mât, de l'ordre de 100 m, est en général deux fois plus haut que la longueur de leurs pales. Ces grandes éoliennes sont destinées à la production d'électricité pour le réseau au sein de parcs, ou de fermes éoliennes. Une éolienne de 2 MW produit en moyenne 4200 MWh par an, soit environ la consommation électrique moyenne de plus de 800 ménages français.⁵⁵

L'appellation générique de « **petit éolien** » désigne les éoliennes de puissance inférieure à 250 kW, parmi lesquelles le « Micro Eolien » (machines < 1 kW), le « Petit Eolien » (machines entre 1 kW et 36 kW) et le « Moyen Eolien » (machines entre 36 kW et 250 kW). Ces petites éoliennes répondent aux besoins du milieu rural ou de zones non raccordées au réseau électrique, en particulier des exploitations agricoles, ou encore d'installations domestiques. Le mât mesure entre 10 et 35 m.

Le parc éolien mondial représente environ 3 % de la production totale d'électricité. Les 3 pays disposant des plus grands parcs éoliens sont la Chine, les États-Unis et l'Allemagne.

2.3 Les éoliennes aujourd'hui en France

a) Puissance installée, production et consommation d'électricité éolienne

La **puissance installée** d'une unité de production électrique désigne sa capacité maximale théorique de production. Selon RTE, 16,7 Gigawatts (GW) étaient installés en France au 31 décembre 2019⁵⁶. Cela représente environ 8 500 éoliennes sur son territoire, réparties dans 1 380 parcs. La filière atteint donc l'objectif fixé par la PPE de 2016, qui prévoyait 15 GW éoliens installés en France métropolitaine continentale à fin 2018. L'Hexagone figure ainsi au quatrième rang européen en matière de puissance raccordée, cependant loin derrière l'Allemagne (59 GW), l'Espagne (23 GW) et le Royaume-Uni (21 GW).

La publication de la nouvelle PPE d'avril 2020 confirme les ambitions de la France pour la filière éolienne avec un objectif de 34,2 GW installés d'ici 2028 soit 17,6 GW supplémentaires en 8 ans, dont au moins 4,7 GW d'éolien offshore. L'atteinte de cet objectif nécessitera une accélération du rythme d'installation pour passer à 2 GW par an d'ici 2028, le rythme de raccordement constaté sur les 4 dernières années étant de 1,6 GW. Une

⁵⁵ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/eolien-terrestre>

⁵⁶ Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, RTE, janvier 2020, <https://www.rte-france.com/sites/default/files/panorama2019-t4-bd2.pdf>

simplification du cadre réglementaire et l'arrivée de machines plus puissantes devront aider à atteindre les ambitions affichées.

Ces capacités doivent néanmoins être rapportées aux **facteurs de charge** des installations, variant d'un site à un autre, afin d'évaluer le volume d'électricité produit *in fine*. Le facteur ou taux de charge d'une éolienne est le ratio entre sa capacité maximale de production et sa production effective, sur une année. Il sert à calculer sa rentabilité énergétique. À titre d'exemple, une éolienne d'une capacité installée de 2 MW qui pourrait au maximum produire 17,52 GWh en une année, mais n'a produit en réalité que 4 GWh cette année-là, affiche un facteur de charge de 22,8 %⁵⁷. Le taux de charge moyen du parc éolien français atteint 24,7 % en 2019, soit le plus haut taux de charge jamais atteint, en nette augmentation par rapport à 2018 (22,8 %). Cette performance s'explique par des conditions météo particulièrement favorables, mais également par le fait que les nouveaux aérogénérateurs installés bénéficient d'un facteur de charge technique plus important.

D'après les calculs de l'ADEME, l'éolien offshore pourrait présenter un facteur de charge plus élevé, de l'ordre de 45 % à 50 %. Parmi les énergies renouvelables, l'éolien possède ainsi le facteur de charge le plus efficace. Cependant, il reste très éloigné de celui des centrales thermiques fossiles et des centrales nucléaires.

	Solaire centralisé	Solaire décentralisé	Eolien Terrestre	Eolien Offshore posé	Eolien Offshore flottant	Hydroélectricité	Centrale Gaz	Centrale Nucléaire	EPR Flamanville
Durée de Vie	25	25	25	25 - 30	20 - 30	50	40	40 - 60	60
Facteur de Charge	13	13	25-42	45 - 48	45 - 50	24	70	70-80	85

Figure 10 : Durée de vie et facteur de charge des énergies primaires électriques – Source : ADEME

En conséquence de cette bonne performance du facteur de charge en 2019, **la production électrique** éolienne s'élève à 34,1 TWh, représentant 6,3 % de la production électrique française. Il s'agit d'un record de production, en hausse de 21,2 % par rapport à 2018.

⁵⁷ <https://www.connaissancedesenergies.org/qu-est-ce-que-le-facteur-de-charge-d-une-unite-de-production-electrique-120305>

Actuellement, les installations éoliennes sont déployées dans plusieurs sites sur le territoire Français. La carte ci-dessous présente les puissances raccordées par région au 31 décembre 2019.

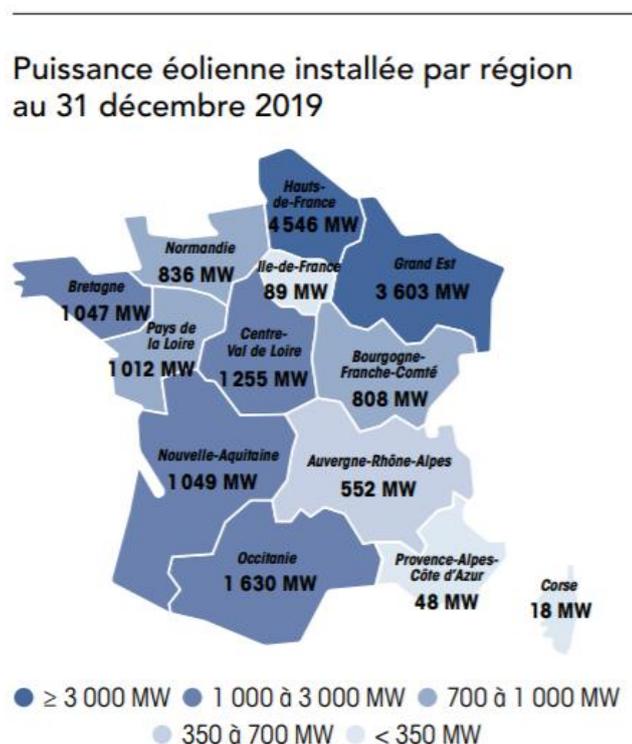
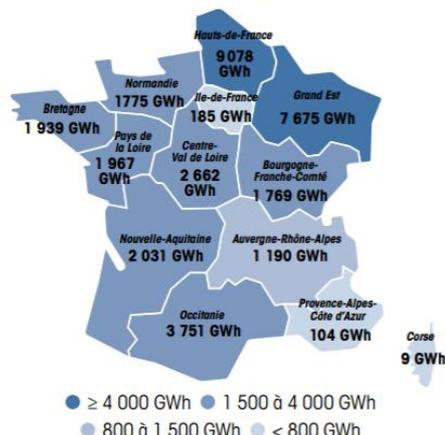


Figure 11 : Répartition régionale de la puissance éolienne raccordée au 31/12/19 – Source : Panorama des EnR, SER

Le **taux de production régional** revêt de grandes disparités. Les régions Hauts-de-France, Grand Est et Occitanie sont les régions qui produisent le plus, couvrant plus de 60 % de la production annuelle (20,5 TWh sur 34,1 TWh). À ce sujet, il est intéressant de noter que, si les régions Hauts-de-France et Occitanie possèdent les meilleurs gisements de vent français, la région Grand Est ne fait pas partie des régions ayant le meilleur potentiel de vent.

De même, en ce qui concerne le **taux de couverture de la consommation** d'électricité par région, la meilleure couverture revient logiquement à la région Hauts de France avec 18,1 % de la consommation d'électricité couverte par l'éolien, suivi par le Grand Est, à 16,9 %. En revanche, la région Centre Val de Loire performe mieux que l'Occitanie, avec 14 % de couverture de la consommation d'électricité par l'énergie éolienne. Au total, l'énergie éolienne a permis de couvrir 7,2 % de la consommation métropolitaine d'électricité en 2019, et même 10 % au dernier trimestre de l'année, en hausse de 1,3 point par rapport à 2018 (5,9 %).

Production éolienne par région en 2019



Couverture de la consommation par la production éolienne en 2019

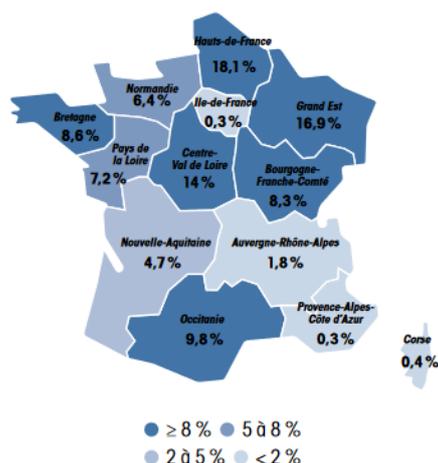


Figure 12 : Production d'électricité éolienne par région en 2019 – Source : Panorama des EnR, SER
 Figure 13 : Couverture de la consommation finale par l'électricité éolienne en 2019 – Source : Panorama des EnR, SER

D'un point de vue économique, l'énergie éolienne est la première filière parmi les énergies renouvelables, réalisant un chiffre d'affaires de 4,7 Md€ en 2016, en progression de 20 % par rapport à l'année précédente. Ce chiffre d'affaires pèse 20 % de l'ensemble des EnR et 39 % des EnR électriques. Cette même année, 62,3 % des investissements de la filière électrique renouvelable sont consacrés à l'éolien contre seulement 17,2 % en 2011.

Cette filière a en effet bénéficié d'un soutien public très appuyé, par le biais du dispositif d'obligation d'achat de l'électricité produite, à tarif garanti sur 15 ans, mis en place en 2000. Il a été réformé par la Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte. Désormais, les petites installations de moins de 6 éoliennes, dont la capacité unitaire est inférieure à 3 MW, bénéficient d'un mécanisme de compensation par complément de rémunération tandis que les grands parcs sont soumis à une procédure d'appels d'offre pilotés par la CRE. Le prix de vente de l'électricité produite est ainsi fixé pour 20 ans et le mécanisme de complément de rémunération vient également compenser la différence entre ce tarif et le prix moyen du marché constaté chaque mois. L'éolien terrestre est donc en train d'évoluer vers un système permettant de se passer de subventions.

Le **LCOE**⁵⁸ (Levelized Cost of Energy, ou coût actualisé de l'énergie) permet d'estimer le coût complet d'un système de production sur la totalité de son cycle de vie : acquisition, construction, rénovation, investissements initiaux, remboursement d'emprunts et frais financiers, maintenance, main d'œuvre, matériel, carburant. Les coûts de fin de vie, comme le démantèlement, le recyclage et la valeur résiduelle, ne sont généralement pas inclus. Selon l'ADEME, le LCOE de production d'un mégawatt-heure de l'éolien terrestre est actuellement estimé entre 54 €/MWh et 91 €/MWh, pour les éoliennes de capacité moyenne (2,5 MW)⁵⁹. Ces coûts sont cependant appelés à baisser prochainement. En effet,

⁵⁸ <https://www.connaissancedesenergies.org/quest-ce-que-le-lcoe-170908>

⁵⁹ Coût des énergies renouvelables édition 2016, ADEME, janvier 2017, http://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2017/01/ADEME_Couts_ENR_janvier2017.pdf

selon les récents calculs de l'organisme, publiés début janvier 2020⁶⁰, le LCOE des parcs mis en service entre 2018 et 2020 se situerait entre 50 €/MWh et 71 €/MWh, en ligne avec celui d'une centrale à gaz à cycle combiné (50 à 66 €/MWh). Le LCOE précédemment calculé, en 2016, selon la même méthode, s'appuyait sur l'étude des coûts de 63 projets, mis en service de 2006 à 2018, avec des taux d'actualisation de 4,8 % et 8 %. Le LCOE du petit éolien serait autour de 280 €/MWh en moyenne, avec une forte variabilité en fonction du contexte local.

Ainsi, au cours de la période 2008-2019, le LCOE du grand éolien terrestre aurait baissé de 42 %, passant de 104 €/MWh en 2008 à 60 €/MWh en 2019, bénéficiant notamment de taux d'actualisation en baisse à 4 % et d'innovations techniques améliorant le facteur de charge des éoliennes. Le potentiel de progression reste encore important au regard des possibilités d'optimisation des rotors et de la logistique.

Pour les collectivités locales, une installation éolienne génère des revenus fiscaux⁶¹ qui peuvent s'avérer importants. Ces revenus sont de l'ordre de 10 k€ à 15 k€ par an pour chaque MW raccordé, qui sont redistribués entre les différentes collectivités selon le régime fiscal de l'établissement public de coopération intercommunale auquel appartient la commune d'implantation.

b) Le marché de l'emploi éolien français

La chaîne de valeur de la filière éolienne⁶² recouvre différents domaines partant de la conceptualisation du projet jusqu'au recyclage de l'aérogénérateur. Selon l'ADEME, en 2018, l'ensemble de l'écosystème éolien français représente 18 200 emplois directs et indirects, répartis au sein de plus de 1000 entreprises. Ce chiffre est en augmentation de 6,4 % par rapport à 2017 et de plus de 14 % depuis 2016. Cette dynamique devrait perdurer, 40 000 nouveaux emplois étant attendus pour répondre aux objectifs fixés par la PPE et la Loi pour la transition énergétique et la croissance verte. Ainsi, plus de 70 % des acteurs du secteur projettent de recruter sur les années à venir.

Aujourd'hui, le secteur éolien est le premier employeur des énergies renouvelables de France devant l'hydraulique. Selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), en 2019, 1 MW éolien raccordé génère 1,2 emploi. Ces emplois sont répartis au sein d'environ mille sociétés de tailles variables, allant de la Très Petite Entreprise (TPE) au grand groupe industriel, œuvrant sur tous les maillons de la chaîne de valeur de la branche : bureaux d'études, développeurs et exploitants, maintenance, logistique, génie civil, fabricants de composants, constructeurs de machines, etc.

Les maillons « Etudes et Développement » et « Exploitation et Maintenance » représentent les deux plus gros bassins d'emplois en France. Ces deux pôles portent également la dynamique de recrutement du secteur.

⁶⁰ Coût des énergies renouvelables et de récupération, édition 2019, ADEME, janvier 2020, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/couts-energies-renouvelables-et-recuperation-donnees-2019-010895.pdf>

⁶¹ Taxes foncières, cotisations sur la valeur ajoutée des entreprises, imposition forfaitaire sur les entreprises de réseaux

⁶² Bilan, prospective et stratégie de la filière éolienne, ADEME, 2017, https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/filiere_eolienne_francaise_2017-rapport.pdf

L'exploitation et la maintenance représentent une grosse part des emplois dans les territoires et ont les avantages d'être non-délocalisables et pérennes sur toute la durée de vie des installations.

La volonté de développer l'éolien offshore permet également d'anticiper des recrutements et de soutenir l'emploi dans les régions littorales, dans des domaines aussi divers que le développement de projets, l'ingénierie ou la construction.

Le secteur de la fabrication de composants croît également de façon stable depuis quelques années.

Néanmoins la France ne possède pas de réelle expertise dans le domaine, primordial, de la construction des turbines de grande puissance, depuis la vente d'Alstom à GE en 2014. Les seuls producteurs français concernent le petit éolien ou les turbines spécifiques et cette branche représente 6 700 Emplois Temps Plein (ETP).

Sur les 18 200 emplois qu'elle représente, la filière éolienne salarie actuellement 7 000 personnes dans les systèmes de production et d'achat d'équipements éoliens, ainsi que 500 salariés dans la vente d'électricité éolienne. La très grande majorité des emplois (90 %) se situe dans la distribution et l'installation d'éoliennes. La fabrication (3 %) et la maintenance (7 %) d'éoliennes ne représentent que 10 % des emplois.

c) L'environnement concurrentiel du secteur

Les éoliennes terrestres présentes sur le territoire français ont été fournies par une dizaine de constructeurs, dont la plupart sont européens, et dont les 4 premiers détiennent plus de 80 % de la puissance totale installée en France. Les principaux **fournisseurs** sont Vestas et Enercon⁶³.

Les acteurs de la filière sont très variés, depuis des acteurs spécialisés dans un domaine particulier jusqu'à des structures complexes et diversifiées couvrant différents maillons de la chaîne de valeur.

Aujourd'hui, 16 exploitants gèrent plus de 300 MW de capacités éoliennes, dont le groupe Engie est le leader avec plus de 1 335 MW gérés par ses filiales et participations (Engie Green, La Compagnie du Vent). EDF Energies Nouvelles arrive au deuxième rang avec 1 250 MW, suivi par Energieteam avec 588 MW.

Depuis quelques années, les grands opérateurs renforcent leurs positions sur le marché éolien. La loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte qui fixe comme objectif la réduction de la part du nucléaire dans le mix énergétique français, pousse EDF et Engie, énergéticiens historiques, à développer leur position dans le renouvelable. Les majors telles que Total ou Shell, préparent également l'après-pétrole en investissant fortement sur le

⁶³ Observatoire de l'éolien 2019, France Energie Eolienne, <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2019/11/observatoire-2019-final.pdf>

marché des énergies renouvelables grâce à l'acquisition d'exploitations indépendantes.

Principaux mouvements de consolidation au sein du marché éolien français depuis 2016

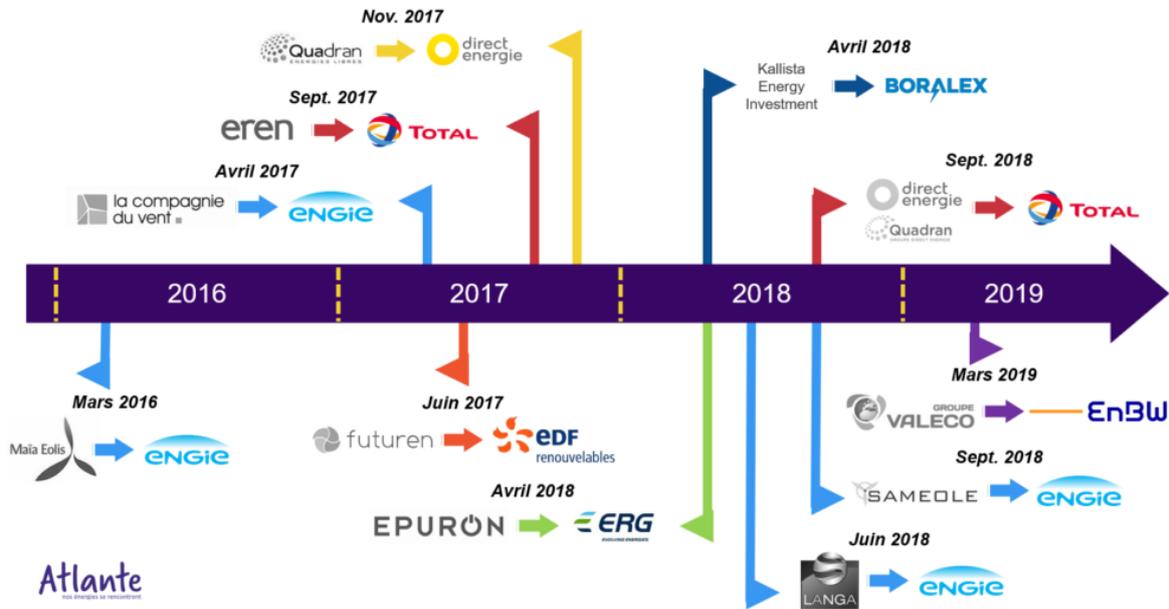


Figure 14 : Principaux mouvements de consolidation au sein du marché éolien français depuis 2016, à mai 2019

d) Focus sur l'éolien en mer

La filière éolienne offshore repose sur deux techniques différentes, l'éolien fixe, posé sur les fonds marins de moins de 70 m, exploitant les vents côtiers, et l'éolien flottant, relié aux fonds marins par des lignes d'ancrage pouvant être implantées dès 30 m de profondeur jusqu'au large.

Selon un rapport de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE)⁶⁴, paru en octobre 2019, le potentiel de l'éolien offshore est quasi illimité. Or aujourd'hui, cette technologie ne fournit que 0,3 % de l'électricité mondiale. La France n'échappe pas à la règle. Malgré ses 3500 km de côtes, la France n'exploite en 2020 qu'une seule éolienne en mer, l'éolienne flottante Floatgen⁶⁵, située au Croisic. Six parcs offshores sont pourtant en cours de développement. Les projets de Fécamp (Seine-Maritime), Courseulles-sur-Mer (Calvados), Saint Nazaire (Loire-Atlantique), Le Tréport (Seine-Maritime), Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor) et Noirmoutier (Vendée) forment le premier lot de parcs éoliens en mer, avec une puissance totale attendue d'environ 3 300 MW. Les premières mises en service sont prévues pour 2022.

⁶⁴ World Energy Outlook 2019, AIE, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

⁶⁵ <https://www.connaissancedesenergies.org/la-premiere-eolienne-offshore-de-france-va-bientot-flotter-au-large-du-croisic-171016>

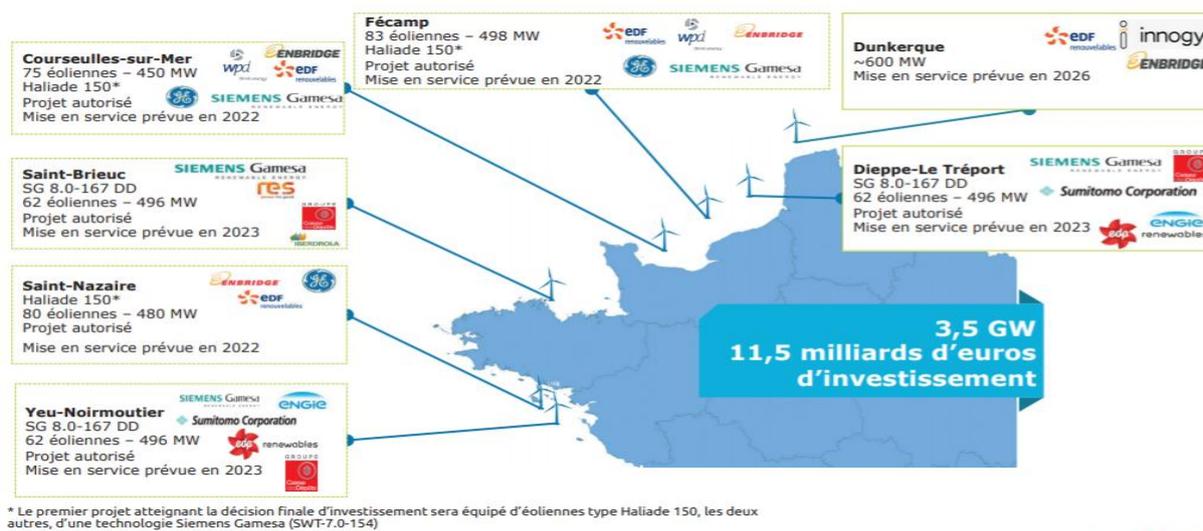


Figure 15 : Cartographie des projets éoliens en mer – Source : Observatoire de l'éolien en France 2019, FEE

Ainsi, le parc éolien en mer ne représentera au mieux que 10 % de la capacité éolienne raccordée en France en 2023.

Le LCOE théorique de l'éolien offshore français est de l'ordre de 150 €/MWh, mais pourrait diminuer rapidement grâce à un certain nombre de leviers de réduction des coûts. Ainsi, l'éolien offshore n'est pas encore suffisamment mature pour pouvoir prétendre à un fonctionnement non-subsidonné.

La branche offshore de l'éolien génère un chiffre d'affaires de 573 M€ pour des investissements qui s'élèvent à 265 M€ en 2018. Le nombre d'emplois liés au secteur s'élève à 2085, en recul par rapport aux années précédentes, à la suite du retard de démarrage des différents projets.

L'éolien en mer bénéficie de conditions de vent plus régulières et favorables que l'éolien terrestre. La vitesse moyenne du vent est également plus élevée, ce qui garantit une production plus rentable. Le taux de charge s'élève alors de 30 à 50 %. L'éolien en mer présente aussi l'avantage de moins gêner les riverains. Cette technologie a en revanche un fort impact pour les professions de la mer, telles que les pêcheurs.

CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

Les éoliennes répondent-elles à l'objectif assigné ?

Nous avons vu que les dernières réglementations énergétiques visent à modifier le mix électrique français dans le but de résoudre 3 problématiques principales :

- Décarboner la production électrique française et réduire son impact environnemental
- Maintenir des coûts de production abordables
- Sécuriser et stabiliser l'approvisionnement énergétique français

En outre, l'acceptabilité des modes de production électriques par la population française est une condition *sine qua non* de ces changements. Dans ce contexte, les éoliennes, présentées comme le fer de lance des EnR, sont-elles l'énergie idoine pour remplir cette mission, d'autant que nous avons vu précédemment que les émissions de CO₂ de la production électrique française sont parmi les plus faibles du monde ?

a) Bilan énergétique

À ce jour, environ 8 500 éoliennes sont en fonctionnement en France pour une puissance installée de 16,7 gigawatts. Or, le parc actuel ne contribue qu'à hauteur de 6,3 % à la production nationale d'électricité, sans garantie de continuité de la production. En effet, les éoliennes sont caractérisées par leur **intermittence** et leur non-pilotabilité, c'est-à-dire que leur production d'électricité est variable et imprévisible : elle dépend des conditions météorologiques. S'il n'y a pas de vent, ou s'il souffle au contraire trop fort, les aérogénérateurs ne pourront pas produire d'électricité. En effet, un vent inférieur à 10 km/h ou supérieur à 90 km/h entraîne l'arrêt de l'aérogénérateur pour minimiser son usure. De même, lorsqu'elle est en mouvement, une éolienne tourne à différentes vitesses en fonction de la force plus ou moins importante du vent. Il arrive alors qu'elle produise trop d'électricité par rapport à la demande du moment, un surplus d'électricité que le réseau pourrait avoir du mal à absorber, et qu'il n'est pas encore possible de stocker correctement. Le bridage, qui permet de ralentir l'éolienne, est alors la solution. *In fine*, en moyenne, sur un an, une éolienne tourne 75 % à 95 % du temps, mais bien souvent à vitesse réduite. Elle produit alors comme si elle avait tourné 20 à 25 % du temps à capacité maximale.

Cependant, les éoliennes ne sont pas toutes en sous-capacité en même temps. Si cette intermittence est un réel obstacle dans une configuration où peu d'éoliennes sont implantées sur un territoire, l'expérience de RTE tend à montrer qu'il y a un effet de lissage de la production à l'échelle régionale, nationale, voire européenne, d'autant que les conditions de vent sont prédictibles 48 h à 72 h à l'avance. Plutôt que d'intermittence, les professionnels de la filière préfèrent alors parler de variabilité. Ce phénomène de mutualisation de la production entre territoires est appelé **foisonnement**. Il permet d'assurer une bonne gestion par RTE de l'équilibre offre-demande d'électricité à l'instant T. Ce subterfuge n'est néanmoins valable que pour un parc éolien ni trop étroit ni trop étendu. Au-delà, le recours à une autre forme d'énergie primaire pour compenser le manque de productivité, ou le développement de nouvelles techniques de stockage et de gestion de réseaux, tels les « smart grids » ou « réseaux intelligents », seront nécessaires afin de faire correspondre la production éolienne avec les pics de consommation. En effet, selon une

étude de Jean-Pierre Flocard et Hubert Perves⁶⁶ des pénuries en électricité peuvent survenir lors d'épisodes de grands froids ou de canicules, obligeant à recourir à d'autres formes d'énergies.

En revanche, l'énergie éolienne présente deux avantages. Elle est fondée sur une ressource disponible, abondante, renouvelable et gratuite, dont la sécurité d'approvisionnement est garantie et qui ne dépend pas des cours des matières premières fossiles. Elle offre de surcroît une **flexibilité** liée à ses capacités d'arrêt et de redémarrage que d'autres sources d'énergie n'ont pas. Elle serait donc adaptable en temps réel aux fluctuations de la demande vers la baisse.

b) Bilan carbone

En matière de bilan environnemental, les éoliennes ont la réputation d'être une énergie propre, c'est-à-dire qui émet peu de gaz à effet de serre. Elles devraient en outre posséder un faible impact sur l'écosystème qui les entoure. Qu'en est-il vraiment ?

En ce qui concerne l'émission de gaz à effet de serre, la production d'électricité ne rejette pas que du dioxyde de carbone (CO₂), mais aussi d'autres gaz tels que le méthane (CH₄) ou le protoxyde d'azote (N₂O) qui réchauffent respectivement 23 fois plus et près de 300 fois plus que le CO₂. Afin d'établir une unité commune entre tous les GES, le GIEC a défini un indicateur, le Potentiel de Réchauffement Global (PRG), qui permet de convertir les diverses émissions de gaz à effet de serre en unités comparables d'équivalent CO₂. Ainsi, le PRG du CO₂, qui sert d'étalon pour cet indicateur, est égal à 1, pour une période de 100 ans. Le PRG à 100 ans du méthane sera alors de 23 tandis que celui du protoxyde d'azote sera de 298.

En ce qui concerne les **émissions de gaz à effet de serre** au cours de la production d'électricité, l'énergie éolienne peut être considérée comme propre. En effet, elle n'émet aucun gaz à effet de serre, ce qui la rend éligible au titre de « technologie bas-carbone ». Néanmoins, au-delà de ces émissions de GES au moment de la production électrique, il est également important de mesurer les émissions de GES sur le cycle de vie complet des éoliennes afin d'en mesurer pleinement l'impact environnemental.

La méthode normalisée ISO 14040 et 14044 de l'**Analyse des Cycles de Vies** (ACV), employée par l'ADEME⁶⁷, comptabilise la quantité d'énergie consommée tout au long de la vie d'un produit ou d'une source d'énergie, depuis l'extraction des matières premières nécessaires à sa fabrication jusqu'à sa destruction ou son démantèlement. Appliquée à l'éolien⁶⁸, cette méthode fait ressortir un taux d'émissions de 12,5 g de CO₂ par kWh pour l'éolien terrestre (et de 14,8 g CO₂ eq/kWh pour l'éolien en mer), soit le troisième meilleur taux derrière les énergies nucléaire et hydraulique (6 g de CO₂ par kWh). Ce taux demeure très faible comparé aux énergies fossiles.

⁶⁶ <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/intermittence-et-foisonnement>

⁶⁷ <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>

⁶⁸ Cf Annexe 2

Technologie utilisée							
Emission directe de CO ₂ (gCO ₂ -eq /kWh)	0	0	0	0	345	272	204
Emission directe de CO ₂ + ACV (gCO ₂ -eq /kWh)	12,5	55	6	6	1060	730	418

Figure 16 : Émissions de CO₂ prenant en compte l'ACV – Source : ADEME

Selon RTE, l'énergie éolienne, tout comme l'énergie solaire, a vocation à se substituer aux énergies fossiles, en addition de la production nucléaire et hydraulique. En conséquence, le déploiement des EnR accompagne bien la décarbonation du mix énergétique français et européen. Ainsi, en 2019, RTE estime que les énergies renouvelables françaises ont permis d'économiser 5 millions de tonnes d'émission de CO₂ en France et 15 millions de tonnes en Europe (hors France). L'amélioration devrait continuer dans les prochaines années, malgré la fermeture de Fessenheim, grâce à l'arrêt des dernières centrales à charbon, et à la poursuite du développement des énergies renouvelables.

Les émissions de GES ne suffisent cependant pas à évaluer le caractère bas carbone d'une source de production d'électricité. À ce titre, l'un des sujets de préoccupation actuels a trait à l'utilisation de **terres rares** dans de nombreuses technologies réputées vertes, comme les batteries de véhicules électriques. Or, les terres rares sont extraites hors de nos frontières, dans des conditions peu écologiques et peu acceptables d'un point de vue sanitaire. Selon les experts que nous avons rencontrés, la très grande majorité des éoliennes actuellement implantées en France ne contiennent pas de terres rares. Seuls quelques constructeurs de turbines en utilisent, en particulier le néodyme et le dysprosium, pour la fabrication des aimants permanents qui équipent certains modèles, peu répandus au sein des parcs français⁶⁹. Selon le Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), moins de 10 % du parc éolien français serait concerné par les terres rares. Ce pourcentage pourrait néanmoins augmenter avec le développement de l'éolien en mer, nécessitant des générateurs plus légers, compacts et faciles à entretenir, dont la conception serait favorisée par les aimants permanents. Cependant, une autre technologie pourra être privilégiée, celle des génératrices asynchrones, qui ne contiennent pas de terres rares.

Les soupçons planent également sur les **solutions de stockage** de l'énergie éolienne. La principale technologie employée en France est le stockage stationnaire au sein de centrales hydrauliques, en particulier les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP). Le stockage d'appoint, en revanche, est assuré par des batteries dont certaines pourraient effectivement contenir des terres rares. Dans la réalité, s'agissant essentiellement de batteries Lithium-ion (Li-ion), sodium-soufre (NaS) et plomb-acide (PbA), ces technologies n'ont généralement pas recours aux terres rares. En revanche, elles nécessitent des **métaux critiques** et non renouvelables, tel le cobalt qui fait l'objet de nombreuses tensions

⁶⁹ Terres rares, énergies renouvelables et stockage d'énergie, Fiche technique de l'ADEME, novembre 2019, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-terres-rares-energie-renouvelable-stockage-energie-2019.pdf>

géopolitiques, 50 % des ressources mondiales étant concentrées en République Démocratique du Congo⁷⁰. Selon RTE, ces moyens de stockage devraient s'avérer suffisants d'ici à 2030. Au-delà, de nouvelles technologies de stockage, nécessitant peut-être des terres rares, devront être développées.

La question du **recyclage** des matériaux issus d'un parc éolien au moment de son démantèlement ou repowering est aussi problématique. Selon l'ADEME⁷¹, chaque aérogénérateur génère 169 tonnes de métaux divers et 455 tonnes de béton et de ferrailles, par mégawatt installé. Les premières éoliennes installées ayant une durée de vie moyenne de vingt ans, les tonnages de déchets deviendront significatifs dès 2024-2025, avec un pic de démantèlement du parc à prévoir en 2030. À cet horizon, 939 000 tonnes de matériaux seraient à traiter. La PPE préconise le recyclage obligatoire des matériaux à partir de 2023 lors du démantèlement des installations, ainsi que la réutilisation des sites en fin de vie pour y implanter des machines plus performantes. Or, si 90 % d'un parc éolien semble recyclable, le matériau composite des pales, alliant fibres de verre et carbone, se recycle très mal à un coût satisfaisant. Il reste alors deux options : leur enfouissement ou leur valorisation énergétique. L'enfouissement semblait être la solution la plus répandue. Cependant, la tendance irait désormais à leur incinération en cimenterie après broyage, afin de se substituer au mazout. D'autres pistes sont également à l'étude⁷². En tout état de cause, la question du recyclage de ce type de matériaux est loin de concerner exclusivement les éoliennes. L'industrie aéronautique, notamment, en emploie beaucoup.

c) Bilan environnemental

Un autre sujet de préoccupation environnementale concerne **l'impact des éoliennes sur la biodiversité**. Une synthèse⁷³ de la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) indique que les oiseaux et les chiroptères migrateurs⁷⁴, ainsi que les rapaces, sont particulièrement exposés, risquant des collisions en vol, des pertes d'habitats ou des perturbations comportementales, liées à la présence d'aérogénérateurs. Certaines espèces, souvent protégées, sont plus touchées que d'autres en raison de leur technique de vol, le vol stationnaire par exemple. Selon Albert Manville, un célèbre ornithologue américain, pas moins de 440 000 oiseaux sont tués par les éoliennes aux États-Unis chaque année. En France, les résultats oscillent entre 0,3 et 18,3 oiseaux tués par éolienne et par an, selon les installations analysées et les organismes qui réalisent l'étude. Néanmoins il ne s'agit que d'une moyenne, car ces chiffres diffèrent en fonction des lieux d'implantation, les parcs les plus anciens ayant été installés sans études d'impact, parfois dans des couloirs migratoires ou zones protégées. Ce taux de mortalité reste cependant très inférieur à celui lié aux collisions avec des parois vitrées d'immeubles, aux chats, à la circulation automobile, aux lignes électriques ou aux pesticides.

En ce qui concerne les autres espèces animales, les phases d'installation et de démantèlement des parcs éoliens peuvent impacter lourdement leur habitat. La construction d'un parc éolien nécessite 300 à 700 m² de terrassement et une emprise au sol de 1 500 à plus de 3 500 m² par éolienne. S'il est développé dans un espace naturel tel

⁷⁰ Cf conférence de Rachid Yamazi, EGE, 24 février 2020, <https://www.aege.fr/agenda/les-batteries-lithium-traite-de-paix-face-a-la-guerre-energetique-222>

⁷¹ <http://www.journaldelenvironnement.net/article/le-recyclage-des-eoliennes-terrestres-tourne-en-rond,100366>

⁷² <https://www.usinenouvelle.com/article/et-si-on-arretait-d-enfouir-les-pales-d-eoliennes.N807845>

⁷³ Éoliennes et biodiversité, 2019, https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf

⁷⁴ Chiroptères = chauves-souris

qu'une forêt, un maquis ou une prairie, il impliquera nécessairement la dégradation voire la destruction des nids et terriers. En effet, ces phases nécessitent déforestation, défrichage, élargissement des voiries d'accès, utilisation d'engins, réalisation de plates-formes, de parkings ou de postes électriques. Toutes ces opérations entraînent l'altération du biotope, la diminution des terrains de chasse et la dégradation des zones d'alimentation.

Les études d'impacts sont censées réduire ces désagréments, afin d'éviter les installations d'aérogénérateurs dans les couloirs migratoires, les secteurs de reproduction et les zones de protections spéciales. En particulier, la méthode réglementairement ERC⁷⁵ (Éviter – Réduire – Compenser) a été consolidée ces dernières années à cette fin. Les éoliennes les plus récentes présentent un système de ralentissement ou d'arrêt pendant les périodes de suractivité, ainsi que des détecteurs de présence et des dispositifs d'effarouchement. Néanmoins, il semble que certaines expertises ne soient pas toujours satisfaisantes et que d'autres types études restent encore à mener concernant l'altération de l'habitat des espèces, les pertes de territoires de chasse des rapaces, les dépenses énergétiques supplémentaires liées au contournement des éoliennes ou le dérangement en période de nidification.

d) Bilan socioéconomique

En matière de bilan économique, l'énergie éolienne doit garantir un coût de production compétitif qui préserve le pouvoir d'achat des Français. La filière pourrait également représenter des opportunités pour le développement économique du pays, en matière d'emploi notamment.

Nous avons vu que le coût actuel (LCOE) de l'énergie éolienne se situe entre 54 et 91 €/MWh et que ce tarif devrait baisser dans les prochaines années en raison de l'installation de parcs plus récents ayant un meilleur taux de charge. Cependant, l'augmentation de la part des EnR, et de l'énergie éolienne en particulier, dans la production d'électricité française, engendre des coûts supplémentaires qui ne peuvent être pris en compte dans le cycle de vie d'une installation éolienne, notamment les frais d'adaptation du réseau électrique engendrés par la variabilité et les difficultés de prédictibilité de la production d'électricité renouvelable. Le réseau électrique doit en effet gagner en flexibilité pour pouvoir absorber le surplus d'énergie renouvelable produit à certaines périodes de l'année, ou compenser au contraire les déficits d'énergie produite, liés aux aléas climatiques, afin d'assurer l'équilibre entre offre et demande énergétique. Ces gains en flexibilité ne peuvent se faire que via un pilotage affiné de la consommation électrique. Cela induit le déploiement de systèmes de gestion « intelligents » (smart grid) permettant de nouvelles interconnexions européennes, la mise en place de procédures d'effacement en cas de pic de consommation, ainsi que le développement d'importantes capacités de stockage (batteries, Station de Transfert d'Énergie par Pompage et l'hydrogène). Autant d'innovations qui peuvent coûter cher.

Or, l'objectif fixé par la PPE de 33 % d'EnR dans le mix énergétique d'ici 2030, nécessitera un doublement des besoins de flexibilité pour garantir l'équilibre offre-demande du système électrique français, ce qui engendrera inévitablement une augmentation des coûts.

Afin de connaître l'estimation réelle du coût de l'énergie éolienne à cet horizon, il faut donc ajouter les coûts engendrés par ce besoin de flexibilité du réseau au LCOE. Le schéma ci-

⁷⁵ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/eviter-reduire-et-compenser-impacts-sur-lenvironnement>

dessous considère un LCOE moyen de 61 €/MWh pour l'énergie éolienne terrestre, auquel s'ajoute un coût de flexibilité du réseau de 18 €/MWh, soit un total de 79 €/MWh. Pour l'éolien en mer, le total atteint 93 €/MWh pour l'éolien posé et jusqu'à 103 €/MWh pour l'éolien flottant. Le coût de l'électricité éolienne est plus élevé que celui des énergies fossiles ou du parc nucléaire historique, mais il se montre très en deçà du coût de l'électricité des centrales nucléaires de nouvelle génération, telles que l'EPR de Flamanville.

	Solaire centralisé	Solaire décentralisé	Eolien Terrestre	Eolien Offshore posé	Eolien Offshore flottant	Hydroélectricité	Centrale Gaz	Centrale Nucléaire	EPR Flamanville
LCOE	36	84	61	75	85	32 - 149	60	49,5	154
Coût de Flexibilité	35	35	18	18	18	0	0	0	0
LCOE + Flexibilité	71	119	79	93	103	32-149	60	49,5	154

Figure 17 : Estimation des coûts de flexibilité du réseau – Source : ADEME

Selon différentes études prospectives, une baisse des coûts d'investissement de 20 à 35 % dans la filière éolienne, et jusqu'à 50 % dans la filière photovoltaïque, devrait être constatée d'ici une dizaine d'années, ce qui favoriserait la rentabilité de l'éolien ramenant son LCOE au niveau de celui des énergies thermiques, elles-mêmes très dépendantes de l'évolution des prix des matières premières.

En termes de dynamisation du tissu économique français, le soutien, pendant plus de 15 ans, de l'industrialisation de la filière afin qu'elle se structure, aboutit à des impacts socio-économiques locaux positifs, notamment en termes de création d'emplois. La filière représente aujourd'hui plus de 18 000 emplois, avec de fortes perspectives de croissance, environ 40 000 emplois, si les capacités installées augmentent réellement.

Autre inconvénient de taille, le top 10 des leaders du marché ne compte aucune entreprise française.

e) Bilan sociétal et sanitaire

Selon un article de CheckNew.fr⁷⁶, 1951 éoliennes terrestres de 3 MW, fonctionnant 21 % du temps, ou 514 éoliennes offshore, sont nécessaires pour produire en une année une quantité d'électricité équivalente aux deux réacteurs de Fessenheim (900 MW chacun), soit 10,8 TWh. En effet, le vent n'étant pas une ressource centralisée et concentrée, il faut de nombreuses unités de production pour le capter efficacement. Le déploiement d'éoliennes bute alors sur la problématique de **l'effet de taille**, d'autant qu'elles peuvent atteindre une hauteur de 155 mètres en bout de pales, et même au-delà pour les aérogénérateurs les plus récents, qui dépassent les 200 mètres. Où implanter toutes ces éoliennes lorsque l'on sait qu'elles génèrent le syndrome Not In My Back Yard (NIMBY), théorisé dans les années 80 aux États-Unis, selon lequel les individus sont favorables aux avancées technologiques qui bénéficient à la collectivité tant qu'elles ne nuisent pas à leur bien-être individuel. Ainsi, la population serait très favorable aux éoliennes du moment qu'elles ne sont pas implantées dans leur environnement immédiat.

⁷⁶ https://www.liberation.fr/checknews/2018/06/07/est-il-vrai-qu-il-faudrait-7000-eoliennes-pour-remplacer-fessenheim_1656464

L’empreinte visuelle des éoliennes est une notion très subjective, qui plaît beaucoup à certains, tandis qu’elle heurte profondément les autres. Les projets attirent d’autant plus les crispations qu’ils sont imposés aux habitants dans des conditions parfois douteuses. Des logiciels dédiés aux études d’impact visuel sont utilisés pour estimer l’intégration des parcs dans les paysages, mais parfois, le manque de concertation entre promoteurs fait naître deux parcs différents dans un rayon très proche, entraînant une saturation visuelle qui n’était pas prévue au départ.

D’autant que certains riverains d’aérogénérateurs se plaignent de **nuisances visuelles et/ou sonores**, liées aux éoliennes. La **stimulation lumineuse stroboscopique**, par exemple, générée par la rotation et la brillance des pales sous les reflets du soleil à certaines heures de la journée, est souvent dénoncée. Celle-ci serait susceptible de provoquer, chez les personnes sensibles, des crises d’épilepsie, une maladie neurologique déclenchée par des clignotements rapides. À ce jour, cependant, aucune crise d’épilepsie imputable au mouvement des pales n’a été répertoriée par la médecine. Ce phénomène serait en effet dangereux à partir de 3 hertz, à savoir 3 clignotements par seconde. Pour atteindre cette fréquence, les éoliennes devraient tourner 3 fois plus vite que leur vitesse maximale. Les experts s’accordent à reconnaître que le mouvement intermittent des pales peut entraîner une gêne psychologique. Une réglementation ICPE selon laquelle un même lieu ne peut être affecté plus de 30 minutes au cours d’une même journée, et plus de 30 heures au cours d’une même année à cet effet stroboscopique éolien, encadre cette manifestation. Elle ne concerne cependant que les habitats situés à moins de 250 m des aérogénérateurs, la législation prévoyant désormais une distance minimale de 500 m. Dans les faits, il s’avère que certaines études d’impacts ne sont pas suffisamment pointilleuses sur le sujet et que le phénomène puisse se produire. Néanmoins, en raison du changement de la position du soleil au cours des saisons et de la journée, il ne peut s’agir que d’un événement ponctuel, se produisant au maximum $\frac{3}{4}$ d’heure par jour durant 3 mois par an. Aujourd’hui, le déploiement de nouveaux modèles de pales, recouvertes de revêtement non réfléchissants, tend à minimiser ce phénomène.

Côté nuisances sonores, les bruits et infrasons générés par les éoliennes ont fait couler beaucoup d’encre. Le mouvement des pales et des turbines des éoliennes engendre bien du **bruit**, perçu lorsque l’on se situe au pied du mât. En théorie, ce bruit n’atteindrait pas les habitations situées à 500 m et plus. Cependant, en pratique, cela peut se produire en fonction du sens du vent. De plus, la gêne liée au bruit est une donnée subjective qui peut atteindre certains individus plus durement que d’autres. Selon un sondage CSA réalisé pour France Energie Eolienne en 2015⁷⁷, 76 % des riverains habitant à moins de 1 000 mètres d’une éolienne n’entendent jamais de bruit et seuls 7 % se disent gênés par le bruit des pales. Selon l’Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), le niveau réel généré par une éolienne, située à 500 mètres de distance d’une habitation, semble de l’ordre d’une conversation à voix basse, soit 25 dB, et d’une émergence spectrale de 5 dB le jour et 3 dB la nuit. En 2018, le bureau européen de l’Organisation mondiale de la santé a publié ses recommandations, soit d’éviter au maximum l’exposition de la population à des niveaux de bruits supérieurs à 45 dB. À titre de comparaison, une voiture thermique émet un bruit de 80 dB.

⁷⁷ Sondage CSA pour la FEE, mars 2015, https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/04/CSA-pour-FEE_Rapport-10042015.pdf

Cependant, la principale source de problèmes sanitaires émanant des éoliennes seraient les **infrasons**. Ces sons basse fréquence, pourtant inaudibles pour l'oreille humaine, seraient à l'origine de divers troubles vibroacoustiques – nausées, vertiges, acouphènes, migraines, troubles du sommeil, tachycardie... – regroupés sous l'appellation « **syndrome éolien** ». C'est la chercheuse américaine Nina Pierpont⁷⁸ qui réalisera la première étude scientifique sur ce syndrome en 2009. Selon elle, le nerf cochléovestibulaire, situé dans l'oreille interne, serait sensible aux infrasons et responsable de ces symptômes. L'étude de 2008 sur laquelle elle fonde ses conclusions a cependant été réalisée sur des animaux soumis à des infrasons très différents de ceux émis par les éoliennes. D'autres études françaises et européennes ont tenté de dégager des liens de cause à effet entre les infrasons éoliens et ce syndrome, sans succès à ce jour. Tel est le cas de l'ANSES, qui a mené une vaste étude dont les conclusions ont été publiées en 2017⁷⁹. Elle pointe le manque d'études épidémiologiques sérieuses menées sur le terrain. Elle souligne néanmoins que ces troubles bien réels pourraient correspondre à un effet « nocebo », lié à la sensibilité de certains patients contrariés par la présence d'éoliennes dans leur environnement. Ainsi, les personnes convaincues que les éoliennes vont les rendre malades tomberaient réellement malades. Selon l'Académie de Médecine⁸⁰, une étude néo-zélandaise de 2017, menée en double aveugle sur deux populations, exposées pendant 10 minutes soit au silence soit à des infrasons, a rapporté que seuls les sujets ayant reçu des informations négatives sur les infrasons avaient développé des symptômes, qu'ils aient été ou non soumis à l'exposition aux infrasons. L'Académie de Médecine conclue alors à une « Intolérance Environnementale Idiopathique » subjective, qui serait alimentée par la désinformation. L'étude de l'ANSES recommande néanmoins de systématiser les mesures de contrôles d'émission d'infrasons tout au long de la vie des éoliennes pour pouvoir prévenir ces symptômes⁸¹.

Si peu d'humains semblent atteints de symptômes en lien avec les éoliennes, plusieurs éleveurs de la région de Nozay (Loire-Atlantique) se sont plaint d'une surmortalité de leurs bovins, ainsi que de comportements inexplicables, comme des refus de traite, à la suite de l'implantation d'éoliennes à proximité de leurs élevages, depuis 2012. Si l'équipotentialité⁸² des éoliennes fût longtemps suspectée, aucune des 25 études menées sur le parc éolien des Quatre-Seigneurs n'avait pu montrer de lien de causalité. Une étude, commanditée par l'État début 2019, exploiterait néanmoins la thèse de l'incrimination d'un câble haute tension qui relie le parc éolien au réseau Enedis. Deux expertises complémentaires viennent d'être missionnées par l'Etat courant juin 2020⁸³.

D'autres méfaits recensés sont les **interférences** avec les radars météorologiques, militaires, ou de navigation aérienne, et la réception TNT par les riverains. En effet, la hauteur et l'envergure des installations ainsi que les matériaux utilisés entraînent une diffraction des

⁷⁸ Nina Pierpont, Le syndrome éolien, 2009, <https://lesyndromeolien.files.wordpress.com/2013/01/windturbine-syndrome.pdf>

⁷⁹ Rapport sur l'évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens, ANSES, <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0115Ra.pdf>

⁸⁰ Rapport sur les nuisances sanitaires des éoliennes, Académie de Médecine, 2017, <http://www.academie-medecine.fr/wp-content/uploads/2017/05/Rapport-sur-les-%C3%A9oliennes-M-Tran-ba-huy-version-3-mai-2017.pdf>

⁸¹ Une nouvelle étude, finlandaise, publiée le 22 juin 2020, aurait prouvé que les infrasons ne nuisent pas à la santé https://www.lexpress.fr/actualite/societe/sante/les-infrasons-emis-par-les-eoliennes-ne-seraient-pas-dangereux-pour-la-sante_2129003.html

⁸² La liaison équipotentielle relie les éoliennes à la terre afin de les protéger de la foudre.

⁸³ https://actu.fr/pays-de-la-loire/puceul_44138/loire-atlantique-l-etat-missionne-des-experts-sur-le-parc-eolien-de-nozay_34216671.html

ondes électromagnétiques qui perturbent les ondes hertziennes avec lesquelles fonctionnent les radars et les antennes de télévision. Grâce à plusieurs études dans différents pays, le phénomène a pu être scientifiquement identifié en France, dès 2002, par l'Agence nationale des fréquences (ANFR). Afin de remédier à ces dysfonctionnements, en plus de zones de servitudes établies par décret, la réglementation impose l'étude de l'ensemble des servitudes radioélectriques et la consultation de l'ensemble des organismes concernés dans le dossier d'étude d'impacts préalables à l'installation d'éoliennes. En cas d'interférences, il sera envisagé une modification du site d'implantation, de la hauteur ou de l'orientation des éoliennes, ou l'installation de relais de réception. Dans le cas des radars, une concertation devra avoir lieu. Cependant, concernant les radars militaires, il est quasiment impossible d'implanter une éolienne de plus de 150 m de hauteur à moins de 30 km. Se pose ensuite la question des plafonds aériens qui restreignent également la zone d'implantation des éoliennes.

f) Bilan de l'éolien offshore

L'éolien offshore n'étant quasiment pas développé en France, et *a fortiori* peu documenté, il nous paraît difficile d'en dresser un réel bilan. Il serait par exemple hasardeux de se prononcer sur l'impact carbone des éoliennes devant équiper les parcs français, ne sachant pas si elles nécessiteront l'emploi de terres rares ou de matériaux critiques.

Au regard de l'expérience de nos voisins européens, cette forme de production d'énergie présente plusieurs avantages par rapport à sa version terrestre. Elle bénéficie d'une force de vent plus régulière et soutenue, ce qui lui garantit une plus grande prévisibilité ainsi qu'un meilleur taux de charge. Celui-ci pourrait atteindre 45 à 50 %, ce qui faciliterait également l'intégration de cette forme d'électricité au réseau. La rentabilité de l'éolien offshore pourrait ainsi être doublée par rapport à l'éolien terrestre. De plus, leur implantation loin des côtes facilite leur acceptation par la population. Enfin, le développement de la filière ouvrirait des perspectives intéressantes de création d'emplois locaux dans les régions concernées par l'implantation de parcs offshore. Les capacités d'innovation des entreprises françaises dans ce secteur pourraient déboucher sur une conquête de marchés internationaux.

Le développement de l'éolien offshore ne serait en revanche pas sans conséquence sur l'écosystème marin local, car il affecterait les sédiments et les populations d'espèces maritimes vivant à proximité⁸⁴. Il serait susceptible de provoquer des désagréments physiques et sonores. Les éoliennes maritimes seraient aussi à l'origine d'un « effet récif » consistant à attirer des espèces vivant habituellement sur des rochers, ainsi que leurs prédateurs, ce qui modifierait l'organisation de l'écosystème. Enfin le déploiement de l'éolien offshore s'avère également une source de désagréments pour l'avifaune marine et les oiseaux migrateurs, qui demeurent encore peu étudiés.

En outre, une éolienne offshore flottante de 10 MW nécessiterait en moyenne 2 500 tonnes d'acier. À titre de comparaison, le réacteur EPR de Flamanville (1700 MW) en contient 42 000 tonnes.

D'un point de vue économique, si la filière éolienne offshore est prometteuse en matière d'emplois, la cohabitation des parcs éoliens en mer avec les zones de pêche et les voies de

⁸⁴ <https://eolien-biodiversite.com/impacts-connus/article/eoliennes-offshores-et-mammiferes>

navigation s'avèrerait particulièrement problématique pour les professionnels de ces secteurs.

Par ailleurs, grâce à un soutien adapté, les derniers appels d'offres dans le domaine feraient état de coûts de plus en plus compétitifs, notamment au Royaume-Uni où le prix du mégawattheure atteindrait 44,89 €/MWh⁸⁵, bénéficiant d'importantes subventions. Cependant, en France, la filière bénéficie du même mécanisme de soutien que l'éolien terrestre, alors qu'elle requiert des investissements plus élevés liés à sa technologie, à ses fondations ou à son raccordement au réseau par câbles sous-marins sur de longues distances. La maintenance est également plus compliquée.

g) Que faut-il retenir ?

Au regard de ce bilan, bien que l'énergie éolienne soit intéressante d'un point de vue de son bilan carbone, dans l'état actuel de maturité et de développement de la filière, l'énergie éolienne terrestre ne semble pas encore en mesure de répondre aux objectifs dont elle est assignée. Peu productive du fait de son intermittence et de son imprédictibilité, trop intrusive pour les paysages, moins vertueuse d'un point de vue environnemental qu'on ne pourrait le penser, elle peut souffrir d'un déficit d'acceptation de la part de certaines populations. En parallèle de la problématique d'adhésion des Français, qui fait l'objet des chapitres suivants de ce rapport, la filière fait donc face à différents enjeux, à la fois d'efficacité énergétique, de compétitivité, d'intégration au réseau, de stockage, de démantèlement et de repowering.

À ce titre, en France, la hauteur moyenne des éoliennes terrestres est de 150 mètres. Or, le déploiement de l'éolien de grande hauteur, culminant à plus de 200 mètres et bénéficiant de rotors de diamètre plus large, permettrait d'atteindre des vents plus forts et plus réguliers. Cependant, l'empreinte spatiale des éoliennes, déjà problématique, en serait encore augmentée, entraînant de nouveaux conflits d'usages parmi lesquelles l'exploitation des couloirs de circulation aérienne et les périmètres d'utilisation de radars.

⁸⁵ <https://www.businessfrance.fr/eolien-mondial-bilan-perspectives-covid19>

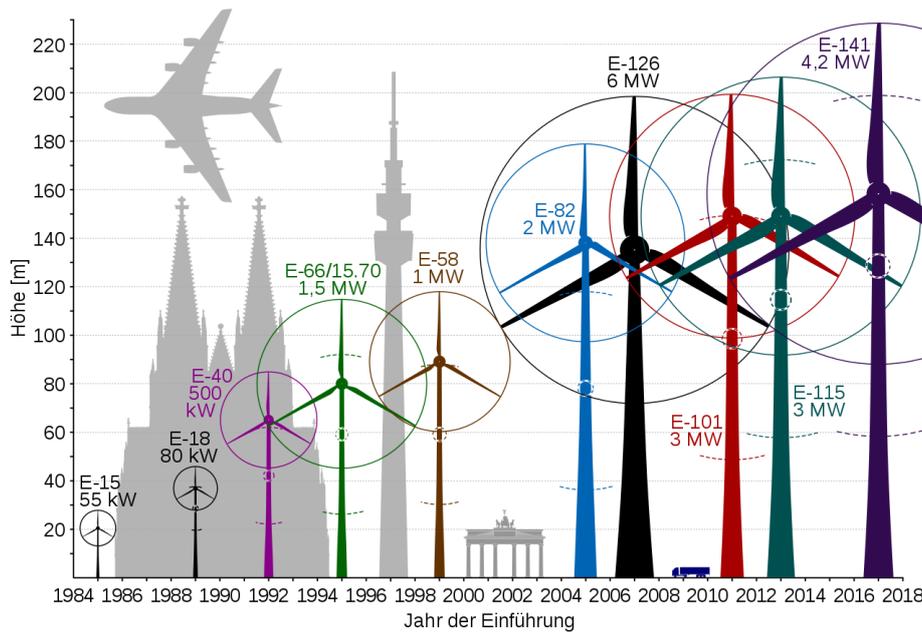


Figure 18 : Évolution de la taille et puissance des éoliennes en Allemagne depuis 1984 – Source : Enercon

Sur le plan économique, le secteur est certes prometteur, surtout en ce qui concerne le coût de production de l'électricité éolienne par rapport au nouveau nucléaire. Cependant, les chiffres annoncés de près de 40 000 emplois créés d'ici la fin de la PPE, en plus des 18 200 emplois existants à ce jour, restent bien en deçà de ce que la filière nucléaire peut représenter.

L'éolien offshore semble plus prometteur que l'éolien terrestre, sous réserve qu'il se développe réellement en France dans des conditions avantageuses pour l'Hexagone.

PARTIE 3/LA POLÉMIQUE SUR LES ÉOLIENNES, UN DÉBAT TRONQUE

Depuis le début des années 2000 et les prémices de l'éolien industriel, l'implantation et l'utilisation de l'énergie éolienne en France font l'objet d'une guerre informationnelle qui n'a jamais trouvé de consensus. Elle opposerait la France d'en haut – ministres, députés, sénateurs, ou PDG de grandes entreprises – qui se montre conservatrice quant à la question de la centralisation de l'énergie, à la France d'en bas – élus locaux et citoyens – favorables à une décentralisation de l'énergie au profit des territoires. D'aucuns diront qu'il s'agit également d'un clivage droite-gauche. En tout état de cause, la polémique rejoint le débat éculé entre anti et pronucléaires, actif depuis les années 60. Du côté des anti-éoliens, elle se concentre principalement sur la défiguration des paysages par les éoliennes industrielles, tandis que leurs défenseurs mettent en avant l'argument, certes écologique, mais surtout économique de cette forme de production électrique. Quels sont les motivations, les méthodes d'influence et les arguments de chacun ? Comment les acteurs se positionnent-ils les uns par rapport aux autres ? C'est ce que nous allons tenter d'éclaircir.

3.1 Une polémique au long cours

a) Un débat en pointillé

Comme le montre le graphique ci-dessous, la polémique entourant les aérogénérateurs semble s'activer par intermittence depuis le début des années 2000. Il représente en effet les requêtes dans Google⁸⁶ concernant les éoliennes entre mars 2004 et mars 2020.

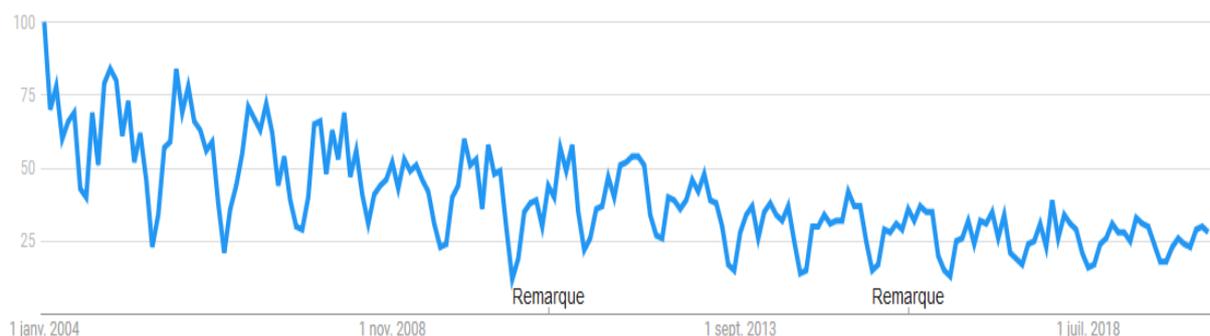


Figure 19 : Évolution des recherches GOOGLE sur le mot-clé « éolienne » de janvier 2004 à mars 2020 – GOOGLE TRENDS

⁸⁶ Google est le moteur de recherche possédant plus de 92 % de part de marché en France

Cette courbe témoigne de deux phénomènes :

- d'une part, l'intérêt porté aux éoliennes est décroissant au sein de la population,
- d'autre part, l'intérêt de la part des Français à l'encontre des éoliennes semble être saisonnier, la période estivale, et notamment le mois de juillet, marquant une diminution d'intérêt très marquée sur le sujet.

Il pourrait sembler logique que la période des vacances d'été soit plus propice à un désintéressement des questions sociétales comme celle qui nous intéresse. Néanmoins, il est intéressant d'effectuer une comparaison avec la courbe de l'intérêt porté à la principale source d'électricité française, à savoir le nucléaire.

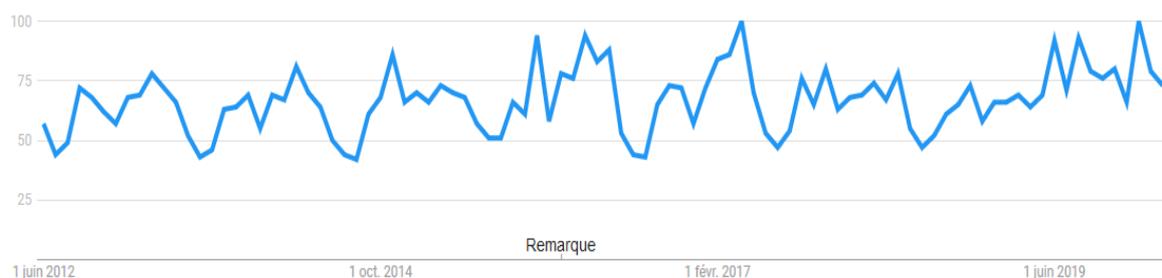


Figure 20 : Evolution des recherches GOOGLE sur le mot-clef « nucléaire » de juin 2012 à mars 2020 – Source : GOOGLE TRENDS – Période réduite afin de masquer le pic provoqué par l'accident de FUKUSHIMA

Nous constatons alors une moindre diminution des recherches concernant le nucléaire pendant les périodes des vacances d'été : environ 33 % de moins, versus 66 % de moins pour l'éolien. En outre, le nucléaire semble rencontrer un regain d'intérêt ces dernières années, à l'inverse des éoliennes.

Au cours de notre analyse de Google Trends, nous avons par ailleurs constaté que les requêtes concernant les éoliennes sont fortement corrélées aux grands débats qui touchent à l'énergie nucléaire, car les pics d'intérêts sur les deux sujets correspondent. Les questions sur les investissements dans l'atome et la répartition des budgets, ou les débats sur les risques portés par la filière nucléaire sont aujourd'hui les principales tribunes des acteurs de l'éolien dont la fréquence des interventions est essentiellement déterminée par la fréquence des questionnements sur la principale énergie française à ce jour.

Si les éoliennes ne font que très peu l'objet d'un débat à elles seules, décorrélées du nucléaire, c'est avant tout par un manque d'investissement de la part de leurs promoteurs ou défenseurs.

b) Une polémique à son apogée début 2020

En France, la polémique sur les éoliennes atteint son apogée en début d'année 2020. En effet, le 14 janvier, Emmanuel Macron déclare⁸⁷ que « *La capacité à développer massivement l'éolien est réduite [...]. Le consensus sur l'éolien est en train de nettement s'affaiblir dans notre pays [...]. De plus en plus de gens ne veulent plus voir d'éolien près de chez eux, considèrent que leur paysage est dégradé.* » Ces propos ont été adoués par la ministre de la Transition Ecologique, Elizabeth Borne, qui accusera les éoliennes de développement anarchique en février 2020⁸⁸.

La filière réplique le 27 février 2020, par le biais d'un communiqué de presse conjoint⁸⁹ entre le Syndicat des énergies renouvelables (SER) et France énergie éolienne (FEE). Celui-ci insiste sur « *l'impérieuse nécessité de développer l'éolien, en accord avec les territoires, pour respecter les objectifs de la France en matière de transition énergétique* ».

Ces déclarations semblaient cependant ne concerner que l'éolien terrestre, pilonné au profit de l'éolien en mer. Elles seraient intervenues dans un double contexte d'élections municipales proches, ainsi que de l'arrêt du premier réacteur de la centrale de Fessenheim. Le gouvernement aurait pu interpréter la polémique entourant les éoliennes comme venant des riverains et avoir eu envie de leur montrer que leur revendication a bien été entendue. C'était également une façon de soutenir la filière nucléaire. En toile de fond, le projet de Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, dans lequel un important volet de développement éolien était prévu, était également en cours de consultation publique et de négociation. Sa publication, le 23 avril, calmera le débat. « *Nous nous réjouissons de la publication de la PPE, qui donne, dans ce moment particulier de notre histoire, de la visibilité à nos différentes filières et confirme l'engagement de la France dans la transition énergétique. Elle constitue un élément fondamental pour la relance de l'activité économique dans notre pays et nos territoires. Mais, nous devons tous être très attentifs aux moyens mis en œuvre pour atteindre, dans les délais, les objectifs fixés* » déclarera Jean-Louis BAL, Président du SER, dans un communiqué officiel⁹⁰.

Par ailleurs, dans la continuité des travaux de la commission Julien Aubert, opposée à l'éolien, un projet de loi « *pour un développement responsable et durable de l'énergie éolienne* »⁹¹ a été déposé le 14 janvier 2020 par le député Emmanuel Maquet, membre du parti Les Républicains, et de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée Nationale, peu favorable à cette forme d'énergie excepté dans sa version flottante.

⁸⁷ Emmanuel Macron, déclaration du 14 janvier 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=5bSASytRH1A>

⁸⁸ Elisabeth Borne, Public Sénat, 19 février 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=GBXfkxGggLo>

⁸⁹ Communiqué du 27 février 2020, SER et FEE, https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2020/02/cp_fee_ser_27-02.pdf

⁹⁰ Communiqué du 23 avril 2020, SER, <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/presse/cp-ppe-23-avril-2020.pdf>

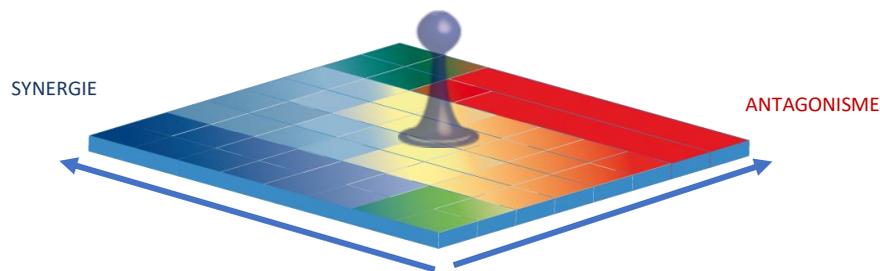
⁹¹ Proposition de loi n° 2571, janvier 2020, http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2571_proposition-loi#

3.2 Le positionnement des acteurs sur l'échiquier

a) Un théâtre aux multiples acteurs

Le sujet des éoliennes revêt un caractère à la fois économique, politique et sociétal, faisant intervenir de nombreux acteurs. Avant de s'intéresser aux arguments avancés par chacun, nous nous proposons d'étudier leur positionnement sur les différents échiquiers. Cette analyse nous apportera une vision plus précise des rapports de force informationnels entre acteurs et des changements d'équilibre liés aux évolutions de leur position.

Nous noterons chacun sur 8 en fonction de deux critères : le niveau d'opposition au sujet des éoliennes, à savoir l'antagonisme, et leur niveau d'implication affichée dans le débat, que nous appelons la synergie des moyens.

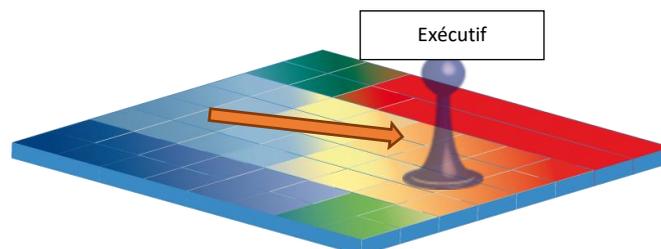


La taille du pion représente le poids relatif de l'acteur.

b) L'échiquier politique

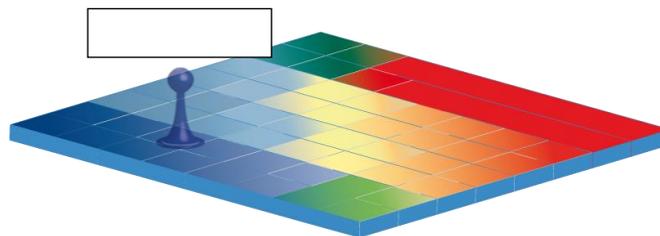
1 – L'exécutif – Antagonisme : 4/8 Synergie 2/8

Si le gouvernement a acté la nécessité d'une transition écologique, celui-ci a néanmoins pris ses distances avec l'énergie éolienne face aux polémiques qu'elle engendrerait auprès de la population. Des mots mêmes du Président de la République début 2020, « *la capacité à développer massivement l'éolien est réduite* ». Le chef de l'État met en avant la perte de consensus sur ce moyen de production et préconise de ne pas l'imposer, à rebours des objectifs initiaux qui prévoyait la multiplication des éoliennes. La posture de l'exécutif, tout au moins en façade, a donc changé sur le sujet de l'éolien terrestre.



2 – Le Ministère de la Transition Ecologique – Antagonisme : 7/8 Synergie 6/8

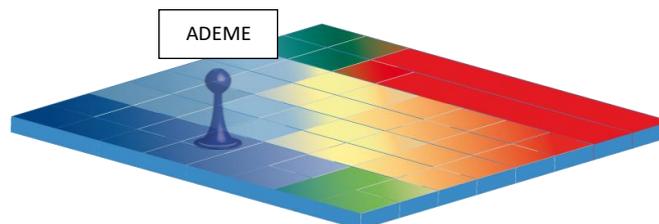
Si l'exécutif se positionne de plus en plus dans l'opposition à l'éolien, le Ministère de la Transition Ecologique, celui de tutelle de la filière éolienne, joue un double jeu. En effet, Elisabeth Borne a pointé fin février le développement anarchique des éoliennes, semblant les désavouer, alors qu'elle a réaffirmé début mars son soutien à la filière éolienne et au groupe de travail créé à l'Assemblée Nationale pour encadrer leur développement. « *Ma position sur les éoliennes est très claire : elles sont indispensables à la transition énergétique de notre pays* », a-t-elle déclaré le 3 mars dernier. La publication de la dernière PPE semble confirmer que le ministère est très favorable à un déploiement des éoliennes, en particulier offshore, tout en ayant la volonté de tenir compte des nuisances qu'elles engendrent pour les riverains.



3 – L'ADEME – Antagonisme : 2/8 Synergie 5/8

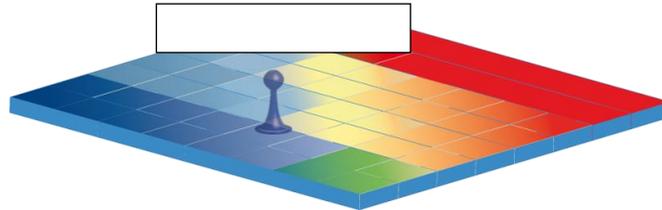
L'Agence de la Transition Ecologique, anciennement nommée Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, est un établissement public sous tutelle ministérielle. Sa mission principale est d'accompagner la mise en œuvre des politiques de transition écologique, par le biais de production de connaissance (études d'impacts et d'expertises), de conseil, de sensibilisation auprès des entreprises, des collectivités et du grand public, ainsi que de financements de programmes de recherche. Dans ce cadre, l'ADEME est à l'origine de recommandations sur le développement des EnR et de communication visant à améliorer la connaissance autour de leurs bénéfices et leurs éventuels impacts.

Bien que proéolienne, l'ADEME ne s'immisce cependant pas directement au sein de la polémique, préférant œuvrer en faveur des éoliennes par la pédagogie et la sensibilisation ainsi que par l'apport de données objectives dans le débat.



5 – Les partis politiques d’opposition de gauche – Antagonisme : 2/8 Synergie 4/8

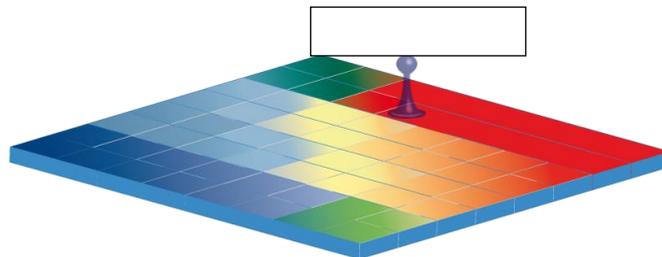
Les oppositions politiques de gauche notamment Europe Ecologie Les Verts et la France Insoumise, sont dans une posture de soutien aux éoliennes, en raison de l’alternative au nucléaire qu’elles représentent, ainsi que de leurs effets supposés bénéfiques sur l’environnement. En outre, elles permettraient de participer à la décentralisation de l’énergie, et de mieux impliquer les citoyens dans la gestion du système électrique. Nous ne reviendrons pas ici sur les motivations antinucléaires d’EELV qui sont abordées dans d’autres chapitre de ce rapport.



4 – Les partis politiques d’opposition de droite – Antagonisme : 7/8 Synergie 5/8

Les opposants politiques de droite, notamment Les Républicains comme Julien Aubert, le Rassemblement National comme Marine Le Pen ou Jordan Bardella, ou d’autres partis conservateurs comme Fabien Bouglé, sont en revanche dans une démarche d’opposition virulente aux éoliennes. Marine Le Pen n’a-t-elle pas déclaré à propos des migrants, en avril 2019 lors du Grand Jury RTL/Le Figaro⁹² « *Les migrants c’est comme les éoliennes. Tout le monde est d’accord pour qu’il y en ait, mais personne ne veut que ce soit à côté de chez lui* » ?

Cette position s’inscrit dans une tradition conservatrice de préservation de l’industrie nucléaire et des paysages.

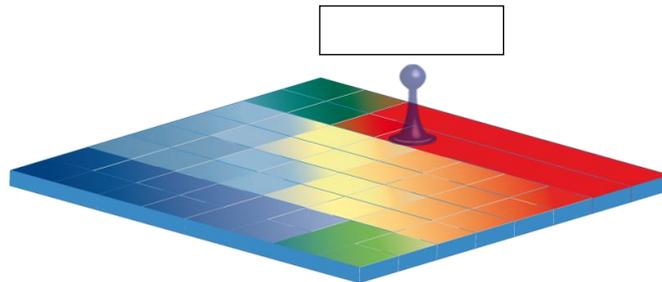


7 – La Commission Julien Aubert – Antagonisme : 7/8 Synergie 5/8

La commission parlementaire présidée par Julien Aubert, dite « *Commission d’enquête sur l’impact économique, industriel et environnemental des énergies renouvelables, sur la transparence des financements et sur l’acceptabilité sociale des politiques de transition* »

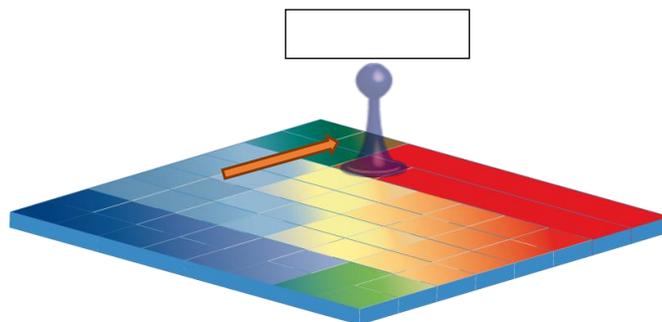
⁹² <https://www.lefigaro.fr/flash-actu/les-migrants-c-est-comme-les-eoliennes-juge-marine-le-pen-20190414>

énergétique »⁹³, a rendu ses conclusions fin 2019. Elle s'est prononcée plutôt négativement sur l'énergie éolienne, tant du fait des impacts sociaux qu'elle engendre, et que reprend en écho le gouvernement, que des bénéfices limités qu'elle apporte. La commission a notamment suggéré de réallouer les fonds destinés à cette énergie vers d'autres moyens tels que la rénovation énergétique des bâtiments ou les énergies thermiques, et d'éloigner nettement plus les éoliennes des habitations.



6 – Les élus locaux – Antagonisme : 7/8 Synergie 6/8

Les élus semblent entretenir avec les éoliennes un rapport principalement centré sur les bénéfices financiers qu'elles leur apportent. Souvent accusés par le passé de favoriser le développement de parcs éoliens dans le cadre de conflits d'intérêts, ils semblent aujourd'hui plus mitigés sur le développement de cette énergie. S'ils peuvent encore bénéficier de retombées fiscales intéressantes pour leur commune par ce biais, notre analyse a pointé une certaine démotivation de la part d'élus de communes très exposées aux aérogénérateurs. Elle est le fruit des contestations de leurs administrés et des frais engendrés par les aérogénérateurs, comme ceux du démantèlement d'anciens parcs, que ne couvrent plus aujourd'hui les subventions. L'attitude des communes à l'égard des éoliennes est donc susceptible d'évoluer, à l'image de celle du gouvernement. Par exemple, Xavier Bertrand, le président de la Région des Hauts-de-France, l'une des plus dotées en éoliennes, cumule les actions contre cette forme d'énergie. A contrario, des associations d'élus soutenant l'éolien se constituent, comme à Loches par exemple⁹⁴.



7 – Synthèse de l'échiquier politique

⁹³ Rapport de la commission Julien Aubert, juillet 2019, <http://www2.assemblee-nationale.fr/15/autres-commissions/commissions-d-enquete/commission-d-enquete-sur-l-impact-economique-industriel-et-environnemental-des-energies-renouvelables-sur-la-transparence-des-financements-et-sur-l-acceptabilite-sociale-des-politiques-de-transition-energetique/> (block)/57 312

⁹⁴ <https://www.lanouvellerepublique.fr/loches/les-elus-pro-eoliennes-sortent-du-bois>

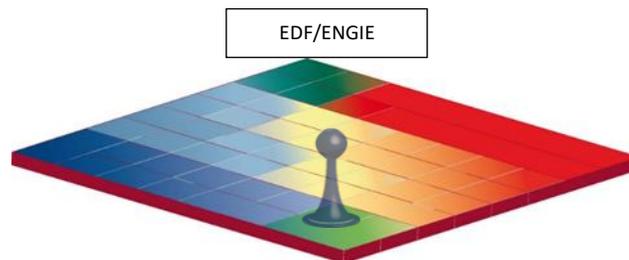
Nous constatons aujourd'hui que la balance de l'échiquier politique n'est plus aussi favorable à l'éolien qu'il fut un temps. En effet, deux de ses acteurs majeurs, l'exécutif et les élus locaux, ont adopté une position plus hésitante. Ces acteurs semblent déstabilisés par la polémique entourant les éoliennes qui atteint leur électorat. En outre, un soutien financier moindre au développement de l'énergie éolienne par l'exécutif pourrait avoir entraîné un désengagement de certains élus.

c) L'échiquier concurrentiel

1 – EDF/ENGIE – Antagonisme : 2/8 Synergie 2/8

Le premier producteur d'électricité en France, EDF, est plutôt réservé sur le sujet des éoliennes. De par son statut de producteur nucléaire, il ne fait pas spécialement la promotion des éoliennes, qu'on met souvent en opposition avec l'atome, sans pour autant attaquer cette énergie, qu'il exploite également. EDF conserve cette prudence jusque sur son site internet⁹⁵, qui semble plus valoriser les projets offshore que les parcs terrestres, ce qui démontre bien une volonté de ne pas cristalliser des tensions plus marquées sur le terrestre.

ENGIE, second producteur d'électricité et premier exploitant d'éoliennes en France, adopte la même stratégie de réserve⁹⁶, communiquant essentiellement sur ses projets offshore qui sont moins polémiques que les parcs terrestres, et sur d'autres pistes comme l'hydrogène pour une mobilité moins carbonée.

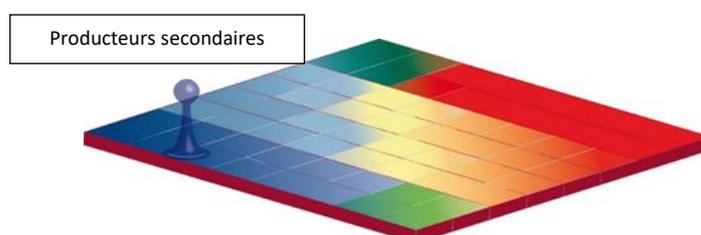


⁹⁵ <https://www.edf.fr/groupe-edf/producteur-industriel/energies-renouvelables/eolien>

⁹⁶ <https://www.engie.fr/green/>

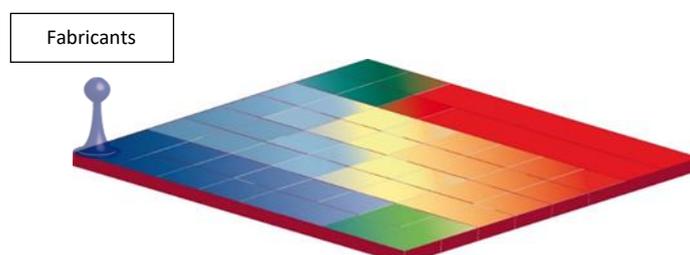
2 – Les producteurs secondaires – Antagonisme : 1/8 Synergie 6/8

Les producteurs d'électricité plus modestes dans leur contribution au mix français sont plus favorables à l'énergie éolienne que les opérateurs historiques. Cela s'explique par leur volonté de percer, et donc de miser sur les énergies autres que le nucléaire, tout en verdissant leur réputation. Total, par exemple, valorise beaucoup ses moyens de production d'énergie renouvelable, à l'instar du rachat récent de Global Wind Power France⁹⁷.



3 – Les fabricants d'éoliennes – Antagonisme : 1/8 Synergie 8/8

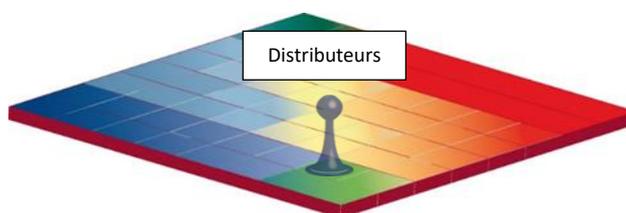
Les fabricants d'aérogénérateurs et turbiniers sont par nature favorables aux éoliennes qui leur procurent leur activité. Composés essentiellement d'industriels étrangers (Goldwind de Chine, Vestas du Danemark, GE des États-Unis...), ce sont des acteurs à l'influence directe limitée sur le terrain, mais qui peuvent agir en activant la société civile.



⁹⁷ Communiqué du 20 mars 2020, Total, <https://www.total.com/fr/medias/actualite/communiques/renouvelables-total-se-renforce-dans-leolien-en-france-avec-lacquisition-de-global-wind-power-france>

4 – Les distributeurs d'énergie – Antagonisme : 2/8 Synergie 2/8

Les distributeurs d'énergie, tels que RTE, préfèrent en général ne pas s'exprimer sur le sujet des éoliennes⁹⁸. Dans le conflit informationnel autour des EnR, ils préfèrent rester passifs, car ils sont les partenaires de toutes les sources d'énergie et ne veulent ni se priver d'une énergie qui leur permet de montrer patte verte ni des autres sources qui assurent leur approvisionnement.



5 – Synthèse de l'échiquier concurrentiel

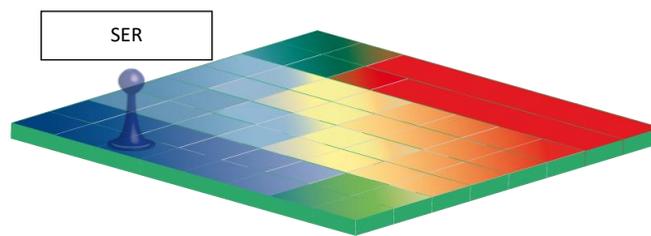
Nous constatons que l'équilibre est assez précaire sur l'échiquier concurrentiel, et que le monde économique reste plutôt hésitant sur le sujet des éoliennes, notamment du fait des jeux d'acteurs impliqués dans plusieurs filières énergétiques, EnR et nucléaire en particulier, ou œuvrant de façon détournée sur les plans politique et sociétal.

⁹⁸ Nous avons sollicité un entretien avec RTE dans le cadre de ce rapport, mais ils n'ont pas accédé à notre requête.

d) L'échiquier sociétal

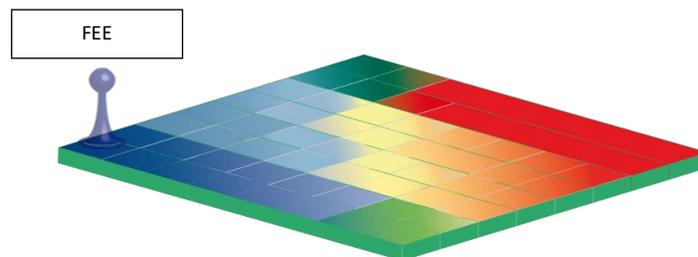
1 – Le Syndicat des Énergies Renouvelables – Antagonisme : 1/8 Synergie 6/8

Le SER, créé en 1993, regroupe 400 entreprises appartenant à toutes les filières des énergies renouvelables en France, dont l'éolien. Ses outils d'influence consistent principalement en des actions de lobbying en faveur de ses filières. Afin de promouvoir les EnR, il siège au sein de différents conseils et commissions nationaux. À noter que des grands groupes, également acteurs de la filière nucléaire sont membres du SER au titre de leur branche « Énergies renouvelables ».



2 – France Énergie Eolienne – Antagonisme : 1/8 Synergie 8/8

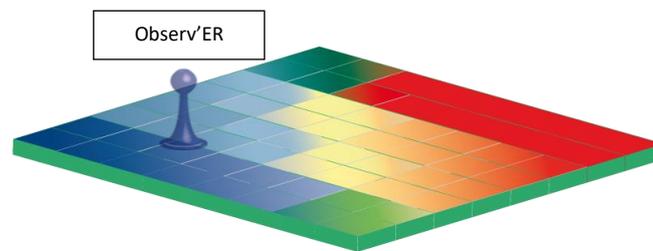
France Energie Eolienne est également une association professionnelle, mais plus spécifique à l'éolien. Elle rassemble plus de 300 professionnels de la fabrication et de l'exploitation d'éoliennes en France. Elle est évidemment favorable au développement de cette énergie dont dépendent ses intérêts économiques. Ses outils d'influence sont essentiellement de la production d'analyse et de la recommandation à l'égard de la filière, mais également d'importantes actions de lobbying, souvent en lien avec le SER⁹⁹, afin de défendre les droits et les intérêts de ses adhérents auprès des pouvoirs publics, des médias et de l'opinion publique.



3 – Observ'ER – Antagonisme : 1/8 Synergie 6/8

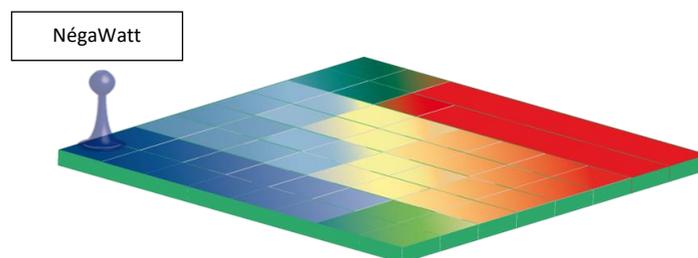
⁹⁹ Communiqué du 27 février 2020, FEE et SER, https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2020/02/cp_fee_ser_27-02.pdf

Créé en 1979, Observ'ER, est l'observatoire des énergies renouvelables, une association fondée par les industriels du secteur et composée d'économistes et d'experts énergéticiens ayant comme objectif la promotion des énergies renouvelables. Sa mission est d'effectuer un suivi des énergies renouvelables et de conseiller les pouvoirs publics et les décideurs lors des débats énergétiques. Observ'er assure également une activité de certification pour garantir l'origine renouvelable de l'électricité. C'est enfin l'éditeur de plusieurs magazines professionnels dont la principale publication de la filière, « le Journal de l'Eolien ». Cet organisme semble très proche de l'Organisme Franco-Allemand pour la Transition Energétique, qui est l'un de ses fondateurs.



4 – NégaWatt – Antagonisme : 1/8 Synergie 8/8

NégaWatt est une association d'experts énergéticiens indépendants qui élabore des scénarii de prospective énergétique. Son objectif est de convaincre qu'un autre avenir énergétique est possible et souhaitable pour la société. Les piliers de leurs analyses sont la sobriété¹⁰⁰ et l'efficacité énergétique¹⁰¹, ainsi que les énergies renouvelables. Ce dernier pilier place évidemment négaWatt dans le camp des proéoliens. Leurs études donnent à cette source d'énergie une place de choix dans les futurs mix, allant jusqu'à 100 % d'EnR à l'horizon 2050. Agissant principalement auprès de la sphère politique, ils semblent en être très écoutés.

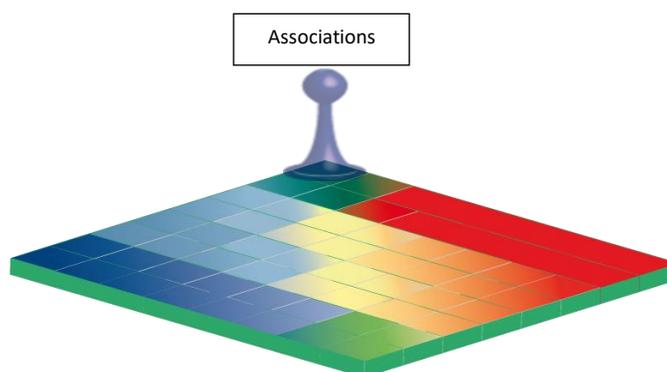


¹⁰⁰ Prioriser les besoins énergétiques essentiels

¹⁰¹ Réduire la quantité d'énergie nécessaire

5 – Les associations de riverains – Antagonisme : 8/8 Synergie 8/8

Vent de Colère (VDC) et la Fédération Environnement Durable sont deux associations qui regroupent les riverains luttant contre les parcs éoliens, déjà implantés ou à venir, dans leur environnement. Elles sont très actives et efficaces auprès de l'opinion publique locale. Leur principal moyen d'action, outre le fait de focaliser l'attention des riverains sur les inconvénients, même ponctuels, des éoliennes afin d'en faire des généralités, est la voie juridique. Elles sont en effet à l'origine des nombreux blocages de projets à cause de recours judiciaires systématiques. Bien qu'apparaissant locales, ces associations sont en fait des organismes nationaux bien structurés. De fait, elles influencent considérablement la perception que peuvent avoir les acteurs de l'échiquier politique sur cette opinion publique, qu'ils considèrent ainsi plutôt défavorable.



6 – Synthèse de l'échiquier sociétal

Sur le plan sociétal, il est perceptible que les éoliennes sont un sujet très clivant et que les acteurs sont très actifs en matière d'influence. Qu'ils soient favorables ou défavorables aux éoliennes, la société civile représente leur principal terrain d'action. C'est par la manipulation de l'opinion publique que chacun arrive à placer ses pions.

Ainsi, c'est sur cet échiquier que se déchaîne l'essentiel de la polémique, qui a notamment conduit aux évolutions constatées sur l'échiquier politique.



Figure 21 : Illustration de la pétition lancée par la SPPEF en avril 2020 contre le projet de parc éolien Provencialis sur la montagne Sainte-Victoire

e) Synthèse des échiquiers

L'analyse de ces différents échiquiers montre que la balance penche plutôt aujourd'hui du côté des opposants aux éoliennes. Les jeux d'influence entre les différents plans sont surtout conditionnés par l'opinion publique. Or, celle-ci apparaît de plus en plus défavorable aux aérogénérateurs aux yeux des élus. Pour des raisons économiques ou électoralistes, les acteurs qui n'ont pas directement d'intérêts financiers dans le développement des éoliennes basculent alors dans une opposition, ou au mieux une neutralité, qui favorise les détracteurs. Cette défiance alimente la boucle, car les opposants n'en sont que plus audibles par la société. Le glissement des deux échiquiers – sociétal et politique – entraîne celui de l'échiquier concurrentiel.

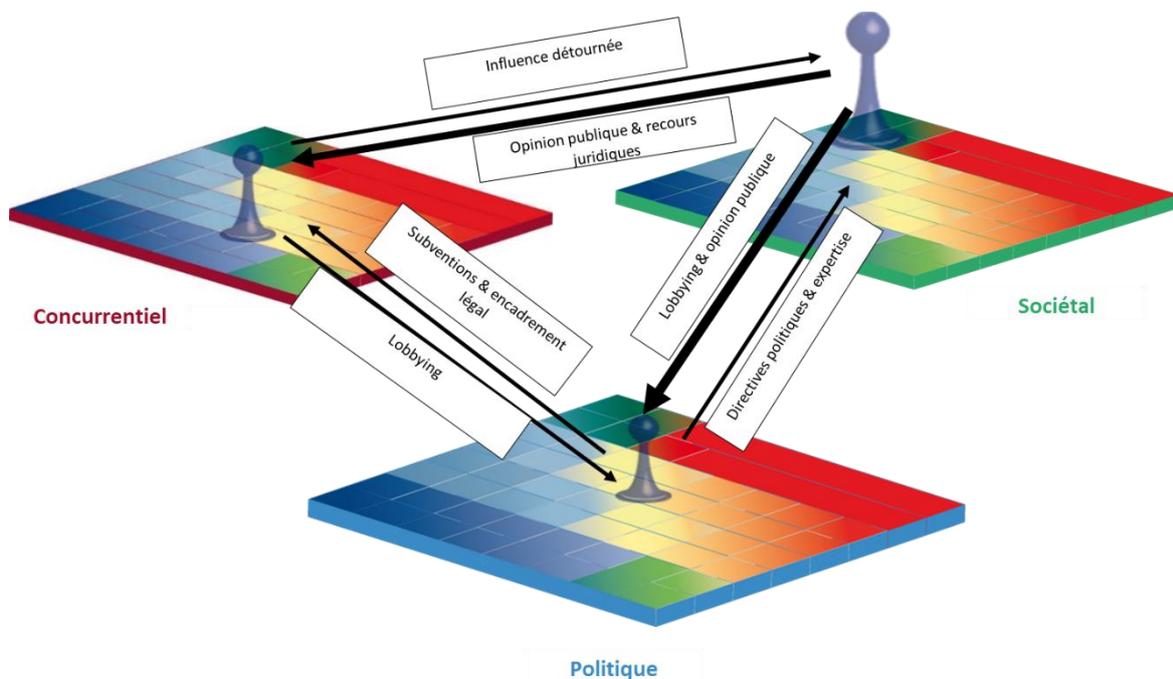


Figure 22 : Synthèse des échiquiers politique, sociétal et concurrentiel

Aujourd'hui, ce sont donc les actions auprès de l'opinion publique qui influencent le plus les évolutions des différents acteurs. Sur ce terrain sociétal, ce sont essentiellement les associations de riverains qui font aujourd'hui entendre leur voix auprès du plus grand nombre et donc, par effet de dominos, auprès de la classe politique. En effet, ceux qui contestent sont toujours plus audibles que ceux qui se défendent, apparaissant plus passifs, d'autant que dans le cas des éoliennes, leurs promoteurs ne disposent pas d'une audience très large et ne sont pour l'essentiel écoutés que par ceux qui sont déjà convaincus. Face à des modes d'action beaucoup plus directs, tels que des procédures judiciaires ou des images-chocs, les proéoliens perdent donc la bataille de la communication, et ce quels que soient les arguments avancés.

3.3 Un débat verrouillé

a) Des détracteurs malgré tout mesurés

À ce jour, l'essentiel de l'opposition aux aérogénérateurs se fait à l'échelle locale, face à des projets précis. Ainsi, les recours initiés contre l'implantation des machines sont le plus souvent le fait d'associations de défense de l'environnement, comme la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) ou la Société pour la Protection des Paysages et de l'Esthétique de la France (SPPEF), ou d'association de riverains, notamment Vent de Colère et la Fédération Environnement Durable (FED).

Ces dernières ont le souci d'apparaître proches des riverains, en jouant sur le registre du local avec peu de moyens, alors qu'il s'agit d'associations et de fédérations structurées au niveau national, voire international¹⁰². Cela transparait dans leurs outils de communication à destination de leurs adhérents, notamment leurs sites internet peu structurés et peu design. Leurs dirigeants s'avèrent en revanche beaucoup plus professionnels dès lors qu'il s'agit de médiatiser leur cause, en occupant le terrain par des interventions télévisées ou radiophoniques, ainsi que des tribunes dans les journaux. Ils fondent également leur encerclement cognitif de la société civile par la publication d'articles ou d'ouvrages à charge contre les éoliennes, reprenant le principe de l'effet-loupe sur leurs inconvénients, certes bien réels, mais qu'ils généralisent et amplifient. Ils interpellent la fibre environnementale de l'opinion en se positionnant comme lanceurs d'alerte et en prônant un écologisme conservateur. Ils se positionnent contre l'éolien en soi et en faveur du nucléaire.

Les contestations provenant des associations de défense de l'environnement sont plus mesurées et ciblées, ne concernant qu'un aspect précis d'un projet éolien, sans rejeter le principe même de l'énergie éolienne.

Ces deux catégories d'opposants ont en commun de recourir à la voie judiciaire pour tenter de bloquer les projets éoliens contre lesquels ils se battent.

À l'échelle nationale, sur les sujets de mix énergétiques dont se saisissent les pros éoliens, l'opposition vient le plus souvent des partisans de la filière nucléaire qui voient en l'essor d'énergies alternatives une menace à l'atome et à ce qu'il représente pour la France. Ils font également appel à l'expertise d'énergéticiens renommés, tel Jean-Marc Jancovici¹⁰³, dont la pédagogie et le charisme permettent de démontrer que les éoliennes sont inutiles pour la transition énergétique française, du fait des défauts inhérents à ce mode de production, alors que la France bénéficie déjà d'une production électrique décarbonée via le nucléaire. Le collectif Énergie Vérité¹⁰⁴ a également été créé en ce sens, en février 2019. Parmi les experts le composant, nous retrouvons beaucoup d'acteurs anti-éoliens traditionnels de l'échiquier sociétal.

Les anti-éoliens présents sur l'échiquier politique ont recours au même effet-loupe que les associations de riverains, les amplifiant en comparant les performances moindres des éoliennes aux réussites de l'énergie nucléaire.

¹⁰² European Platform Against Windfarm (EPAW), <http://www.epaw.org/>

¹⁰³ Nous avons sollicité un entretien avec JM Jancovici dans le cadre de ce rapport, mais il n'a pas accédé à notre requête

¹⁰⁴ <https://www.energieverite.com/nos-membres>

Malgré des arguments anti-éoliens somme toute solides, et dans un contexte d'exécutif hésitant quant à son soutien à l'éolien terrestre, les détracteurs ont cependant choisi une stratégie détournée visant à gagner l'opinion publique à leur cause localement plutôt qu'à attaquer frontalement les éoliennes sur une large échelle. Cette attitude attentiste sur l'éolien répond d'une part au désintéressement du sujet évoqué plus haut, et d'autre part au fait qu'il est très difficile d'attaquer directement le symbole de la transition écologique sans être stigmatisé et décrédibilisé. Ainsi, ceux qui montent au créneau sont ceux qui apparaissent légitimes pour le faire, à savoir les riverains directement impactés.

b) Des défenseurs timorés

Face à ces attaques récurrentes, prenant de plus en plus d'ampleur, les promoteurs directs de l'éolien restent relativement discrets et peu actifs sur la sphère sociétale, laissant les acteurs antinucléaires prendre le relais de façon beaucoup plus efficace pour s'immiscer dans la polémique. Facialement, il s'agit davantage pour les proéoliens de défendre cette énergie quand elle est attaquée que de véritablement en faire la promotion. Or, dans le contexte informationnel actuel, l'éolien n'existe généralement pas seul, mais bien face au nucléaire.

Les défenseurs des éoliennes jouent sur le registre émotionnel en interpellant la fibre écologique de l'opinion publique. Leur stratégie d'influence dans les médias ou sur les réseaux sociaux est clairement défensive, se bornant à répondre aux attaques en faisant de la pédagogie. Leur attitude est bienveillante par rapport aux énergies concurrentes – autres EnR, en premier lieu, mais également le nucléaire – face auxquelles ils jouent la carte de la complémentarité au sein du mix. Rappelons que le Ministère de la Transition Ecologique, leur ministère de tutelle, est également le ministère de l'Énergie nucléaire. Il promeut donc à la fois le développement des EnR et celui du nouveau nucléaire. Ces acteurs ne souhaitent donc pas apparaître comme antinucléaires. Par ailleurs, les principaux acteurs du secteur de l'éolien, tels que le SER, sont souvent étroitement liés à des grandes entreprises du secteur de l'énergie, historiquement fondées sur l'énergie nucléaire.

Dans la guerre informationnelle en cours sur les énergies, les pros-éoliens sont donc souvent sur la défensive et ne passent que rarement à l'offensive. Ils préfèrent se positionner en tant qu'experts du sujet, se montrant très actifs dans les activités de lobbying auprès de la sphère politique. Ils sont parfois enclins à adopter une attitude condescendante envers le grand public, trop novice pour comprendre les enjeux inhérents à leur problématique, d'autant que leur principal argument, nous le verrons est d'ordre économique et fondé sur des calculs pas toujours simples à appréhender.

En voulant démonter les arguments négatifs adressés contre les éoliennes, ils participent cependant à les répandre, sans vanter pour autant les mérites de leur cause. Cela pourrait être révélateur à la fois de la différence de stature des acteurs et de la confiance que les proéoliens ont de leur propre cause.

Face aux critiques que soulève l'éolien terrestre, c'est aujourd'hui davantage vers l'offshore que se tournent les promoteurs de l'énergie éolienne, allant parfois même jusqu'à opposer les deux types. Ce débat interne aux éoliennes alimente les arguments des anti-éoliens.

L'essentiel du soutien le plus efficace aux éoliennes est apporté par des associations comme négaWatt, qui militent pour une transition écologique nationale et ne font pas des éoliennes LA solution, mais seulement une partie de celle-ci. Les ONG clairement antinucléaires, comme le Réseau Sortir du Nucléaire ou Greenpeace, sont aussi leurs meilleurs alliés.

c) Les arguments de soutien aux éoliennes

Aujourd'hui les éoliennes sont défendues par des associations écologistes qui œuvrent en faveur de la transition énergétique. Ce ne sont dès lors pas les éoliennes en tant que telles qui sont mises à l'honneur, mais l'énergie renouvelable la plus neutre possible en carbone qu'elles représentent. Malgré des inconvénients, comme certains impacts environnementaux non nuls, elles s'avèrent la meilleure alternative bas-carbone aux énergies fossiles existant à ce jour. Il s'agit donc à leurs yeux de la « moins pire » des solutions. Sans nier le défaut que présente l'intermittence de cette source, les pro-éoliens la placent dans un contexte combiné de mix énergétique bas carbone et de réduction de la consommation électrique. Celle-ci doit se faire à la fois par la technologie dont ils espèrent une amélioration des rendements énergétiques, et par une limitation des sources de consommation, notamment en coupant les appareils non utiles qui restent allumés.

- **La France bénéficie d'un important potentiel de vent** : les partisans des EnR pointent le potentiel des vents en France, le second gisement d'Europe et notamment des vents maritimes, très peu exploités. Le développement de l'éolien en France aurait donc une forte marge de manœuvre. Face à cette proposition concrète de production d'énergie, les promoteurs notent que les détracteurs ne proposeraient pas de solution pour diminuer la production de CO₂, en dehors d'un maintien de l'énergie nucléaire.
- **Elle est très intéressante en matière de coûts** : la lecture des rapports, notamment de l'association France Energie Eolienne qui représente les professionnels du secteur, mais également de l'ADEME, met en avant les avantages financiers liés aux éoliennes et aux subventions qu'elles apportent aux communes où elles sont implantées, davantage que les arguments écologiques ou de sécurité.
- **Cette énergie reste pilotable et flexible** : du fait du foisonnement, mais également l'utilisation de la technologie et des « smart grids », les promoteurs de l'éolien indiquent que cette énergie reste pilotable, et même très localement, car il serait possible de stopper les pales d'une machine en cas de besoin, si elle devait se trouver sur la route d'animaux migrants par exemple, limitant ainsi les risques pour l'avifaune. Le foisonnement interrégional permettrait également de pallier localement la variabilité des éoliennes.
- **Elle est plus adaptée au réchauffement climatique que le nucléaire** : un autre argument est la problématique récurrente du refroidissement des réacteurs nucléaires dans un climat globalement réchauffé. Mettant en avant les arrêts de tranches pour des raisons de sécurité pendant les canicules, lorsque l'eau réchauffée des cours d'eau ne permet plus de refroidir correctement les cœurs, les pro-EnR mettent en doute l'utilisation des centrales nucléaires lors des épisodes de fortes chaleurs qui seront de plus en plus fréquents avec le changement climatique. Le mix dans lequel ils placent l'éolien est donc celui d'habitudes de consommation transformées, qui permettraient à la fois de limiter

les émissions de CO₂ tout en se prémunissant contre les risques engendrés par la filière nucléaire.

- **Elle est bénéfique pour l'emploi dans les territoires** : autre argument de ces promoteurs, l'impact sur l'emploi. Avec l'augmentation du nombre d'éoliennes qui devront être implantées dans les années à venir, le secteur sera en croissance et générateur d'emploi. En effet, constructions, exploitation, entretien et démantèlement sont autant d'étapes génératrices d'activités économiques pour les communes concernées.

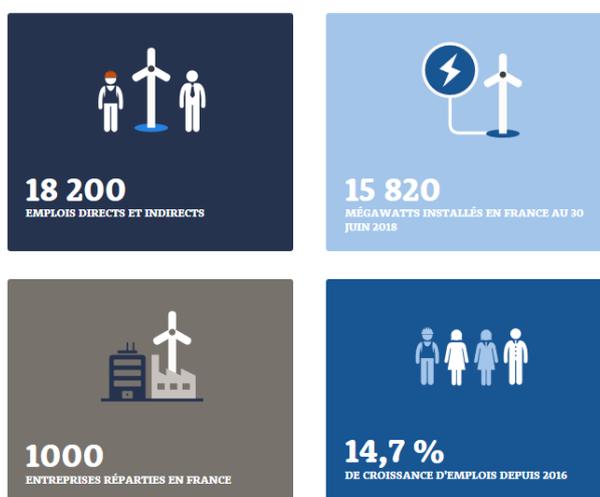


Figure 23 : Chiffres économiques avancés par FEE dans l'observatoire de l'éolien 2019¹⁰⁵

Face aux critiques locales, les pro-éoliens s'appuient sur le manque de bases scientifiques des études menées sur les nuisances des aérogénérateurs et pointent au contraire le respect strict des normes dans le domaine des impacts environnementaux.

Les arguments économiques perdent néanmoins aujourd'hui de leur puissance compte tenu de la réduction des subventions accordées, ce qui témoigne de l'attention portée par l'État aux arguments des opposants et que les pro-EnR qualifient d'effet loupe. Il s'agit de pointer et amplifier des incidents ponctuels, quand la plupart des installations se font sans encombre.

d) Les arguments contre les éoliennes

Les arguments avancés aujourd'hui par les opposants aux éoliennes sont de deux ordres : d'une part, défendre l'idée que les aérogénérateurs sont néfastes pour l'environnement, et d'autre part qu'ils mettent en danger la société française et son industrie.

Alors que l'éolien se veut une énergie « verte » pro environnement, c'est justement sur ce terrain que se situe l'essentiel de l'opposition. Les arguments opposés sont à la fois spécifiques à chaque éolienne et plus généraux sur leur utilisation globale :

¹⁰⁵ Observatoire de l'éolien 2019, FEE, <https://fee.asso.fr/pub/observatoire-de-leolien-2019/>

- **Les éoliennes défigurent le paysage** : c'est un des arguments clés fournis par les associations de riverains, qui prennent à témoin les populations habitant près des aérogénérateurs et qui n'apprécient pas de voir leur panorama naturel entaché de ces pylônes, notamment lorsqu'ils viennent par champs entiers « encercler des villages ».



Figure 24 : Un village de la Beauce défiguré par les éoliennes – Source : VIAPL¹⁰⁶

- **Elles génèrent des nuisances néfastes pour l'homme et la faune** : au-delà de l'aspect visuel, le fonctionnement des machines serait problématique, que ce soit par les vibrations ou infrasons provoqués par les pales et qui perturbent riverains et animaux des alentours, ou par le mouvement même de l'hélice qui tuerait des oiseaux, dont des espèces protégées. L'effet stroboscopique des pales cachant le soleil à chaque rotation est également évoqué comme une nuisance supplémentaire par les riverains.
- **Le cycle de vie de la machine est anti écologique** : qu'ils s'agissent des matériaux utilisés, des socles de béton ou des routes à construire pour amener les éléments du chantier, l'empreinte carbone ou sur l'environnement serait loin d'être négligeable, à l'opposée donc de la philosophie écologique initiale. L'impossibilité de recycler les machines feraient également courir un risque, soit de pourrissement sur place du matériel arrivé en fin de vie, comme ça a pu être le cas aux USA, soit d'externalisation de la pollution, les deux options étant évidemment nuisibles à l'environnement.

¹⁰⁶ <https://viapl.fr/leolien-industriel-ses-mensonges-et-ses-nuisances/>



Figure 25 – Éoliennes abandonnées aux États-Unis¹⁰⁷

- **Le mécanisme de soutien financier encourage les pratiques mafieuses** : il aurait alimenté des réseaux d'intéressés, particuliers ou élus, qui ont pu profiter de l'implantation de parcs éoliens pour s'enrichir ou s'assurer une réélection sans tenir compte des impacts sur les riverains, ni de la rentabilité énergétique du parc.

Les mêmes arguments sont également employés à l'encontre des éoliennes offshore, notamment concernant l'impact sur la faune et ses conséquences économiques : les vibrations de la machine provoqueraient la fuite des animaux marins, rendant de facto ces zones moins rentables pour les pêcheurs locaux qui doivent s'aventurer plus loin et donc perdre du temps et des ressources.

Ces arguments environnementaux sont mis en parallèle avec les projets de transition écologique s'appuyant sur les éoliennes et donc avec le risque de leur multiplication, et les opposants luttent d'autant plus farouchement que les nuisances précédemment citées seraient exacerbées par un plus grand nombre d'aérogénérateurs.

C'est sur ce second terrain, celui des stratégies énergétiques, que s'avancent les arguments de la mise en danger de la société française. Comme déjà exposé, la production électrique française est aujourd'hui le fruit des politiques pronucléaires menées depuis les années 60-70. Celles-ci ont eu pour conséquence la création d'une solide filière industrielle nucléaire en France et une relative indépendance énergétique du pays, tout en permettant une consommation d'électricité conséquente. Les opposants aux éoliennes mettent en avant aujourd'hui la menace que les aérogénérateurs représentent pour ces acquis :

- **La transition du nucléaire vers les énergies renouvelables intermittentes, dont l'éolien, menace la lutte contre le réchauffement climatique et la souveraineté énergétique de la France.** En fragilisant la stabilité de l'énergie nucléaire, les éoliennes encourageraient les augmentations d'émissions de GES en France, obligeant à recourir à des centrales à charbon ou à gaz, alors que le pays est actuellement au deuxième rang des pays les

¹⁰⁷ ventsetterritoires.blogspot.com/2016/11/le-grand-mensonge-14000-eoliennes.html

moins émetteurs derrière la Norvège. Cela engendrerait également une dépendance grandissante à l'importation d'énergies fossiles.

- **Corollairement, le remplacement de la grande capacité de production quasi constante des centrales nucléaires par des sources intermittentes comme les éoliennes est perçu comme un recul de la société.** L'argument ici avancé est que la baisse de consommation que nécessite une telle transition ne peut se faire que par la réduction du niveau de vie de la population. Sur ce dernier point, les opposants aux éoliennes sont donc en accord avec leurs promoteurs, mais diffèrent sur la conséquence finale : évolution technologique et bond en avant pour les uns, recul pour les autres. Les détracteurs de l'énergie éolienne contestent qu'un remplacement 1 pour 1 de l'énergie produite serait possible. En effet, compte tenu du facteur de charge très inférieur des EnR, il faudrait beaucoup plus d'unités de production renouvelables pour compenser la perte de l'énergie atomique. S'ajouterait également la nécessité de remodeler entièrement le système de distribution d'électricité, conçu pour de la production concentrée en haute tension et non pour des sources moyennes ou basses tensions décentralisées et réparties sur le territoire.

- **L'industrie nucléaire est vieillissante et nécessite de nouveaux investissements** : si cet argument est parfois utilisé par les antinucléaires qui voient dans l'atome un gouffre financier, il est également employé par les anti-éoliens qui voient dans le développement des EnR un détournement des fonds nécessaires pour maintenir à flot le nucléaire. Ils dénoncent les conséquences de cet abandon : augmentation des risques avec un parc nucléaire vieillissant et non rénové correctement, destruction des emplois liés à cette industrie, perte d'un savoir-faire qui faisait la fierté de la France, etc.

Les plus mesurés des détracteurs de l'énergie éolienne avancent néanmoins que les aérogénérateurs peuvent être utiles ponctuellement, par exemple pour des secteurs isolés des réseaux ou pour les îles. Concernant les succès attribués à cette forme d'énergie au niveau européen (Danemark 48 % de l'énergie produite, Allemagne 21 %...), ils rétorquent que ces exemples ne fonctionnent que par l'importation d'électricité étrangère lorsque l'éolien faiblit, une option uniquement possible du fait d'un réseau européen développé... et qui s'appuie fortement sur le nucléaire français, socle fiable et continu de production d'électricité. Cette réussite exemplaire ne serait donc plus possible en cas de sortie française de l'atome.

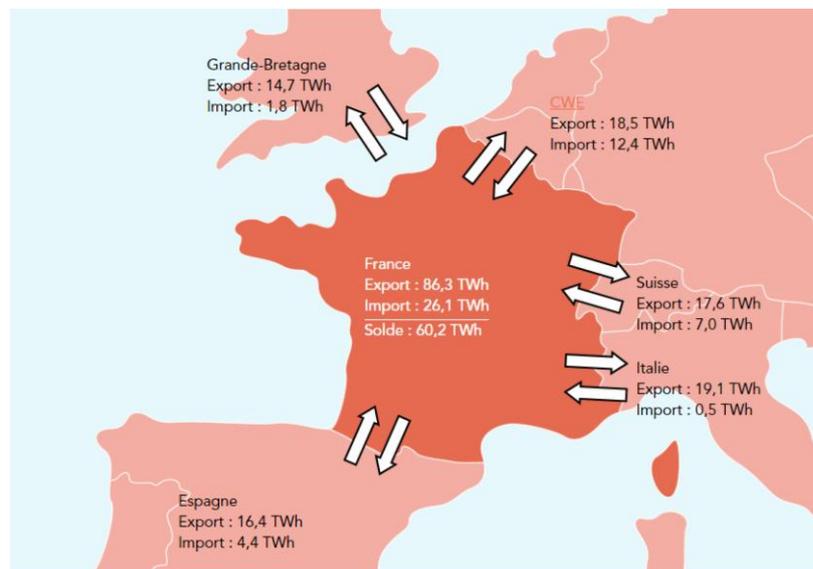


Figure 26 – Importations et Exportation d'électricité en France en 2018 – source : le Monde¹⁰⁸

¹⁰⁸ <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2019/02/08/en-2018-electricite-decarbonee-et-exportee/>

e) Quel bilan de la polémique ?

Il apparaît que le débat entourant les éoliennes est relativement verrouillé. Les anti-éoliens ne peuvent pas attaquer trop ouvertement les éoliennes par crainte de se mettre à dos la société civile et d'être accusés de climato-scepticisme, au détriment des générations futures. Quant aux pro-éoliens, ils ne peuvent pas non plus attaquer trop frontalement l'énergie nucléaire, dont l'attaque constitue un tabou en France et dont le ministère de tutelle est le même que celui des EnR.

Ainsi, la principale arme des promoteurs comme des détracteurs des éoliennes est le lobbying auprès des instances gouvernementales françaises et européennes, chacun étant doté des moyens suffisants pour s'opposer aux réformes allant à contresens de ses intérêts, depuis l'élaboration des lois jusqu'à leur mise en œuvre.

En conséquence, l'énergie éolienne est le dispositif de production électrique dont les écueils sont les plus décortiqués et débattus sur la place publique. Aucune autre source d'énergie ne fait l'objet d'une telle attention.

L'éolien en mer, bien que n'étant pas encore exploité, n'échappe pas aux controverses, tous les projets offshore français ayant été bloqués par de longues procédures juridiques. Les recours sont déposés par les professionnels du tourisme craignant un impact sur leur chiffre d'affaires, par les pêcheurs inquiets pour leur avenir, ou par les naturalistes qui insistent sur la présence d'espèces menacées.

Si certains des arguments des opposants restent très terre à terre, d'autres sont davantage révélateurs d'un problème de fond que soulèvent les éoliennes vis-à-vis du nucléaire : l'approvisionnement énergétique de la France et son indépendance dans ce domaine.

PARTIE 4/UN ENJEU DE SOUVERAINETÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Au-delà des enjeux locaux soulevés par l'implantation de parcs éoliens, la polémique qui entoure les éoliennes pourrait participer d'une stratégie de déposséder la France et l'Europe de leur souveraineté énergétique à l'horizon 2050. En effet, si la géopolitique de l'énergie a longtemps eu pour seuls enjeux la maîtrise et la répartition des ressources en énergies fossiles entre les pays, la donne est en train de changer considérablement avec le développement des énergies bas-carbone fondées sur des technologies émergentes. Aux problématiques liées à la sécurité des approvisionnements en combustibles s'ajoutent celles entourant les métaux critiques ou l'innovation technologique. Or, dans la course à la maîtrise de la chaîne de valeur des énergies renouvelables, les États-Unis, la Chine et même le Danemark, ont pris une longueur d'avance sur la France. Cependant, un autre pays joue un rôle majeur dans le développement de l'énergie éolienne en France : l'Allemagne. La polémique sur les éoliennes émanerait-elle d'une lutte entre frères ennemis ? Si elle semble orchestrée par l'Allemagne et les États-Unis, cette stratégie sert indirectement les intérêts chinois et russes qui partagent le même objectif de faire de l'Europe le futur marché d'exportation de leur technologie énergétique. Ainsi, affaiblir la filière nucléaire française aurait plusieurs motivations : créer un marché pour les EnR (Allemagne, Danemark, Chine) ou pour le gaz (États-Unis), ou encore piller son savoir-faire technologique afin de prendre sa place de leader mondial sur la technologie nucléaire (États-Unis, Chine).

4.1 Une souveraineté énergétique française fragilisée

a) Une souveraineté assurée par le nucléaire

En termes de ressources énergétiques, la France dispose de moyens très limités, malgré une surface plus importante que celle de ses pays voisins. Auparavant principale source d'énergie de l'Hexagone en raison de la richesse du sous-sol français autour de trois bassins principaux – Nord–Pas-de-Calais, Lorraine, Centre-Midi – le charbon n'est plus exploité en France depuis 2004. La France est donc entièrement dépendante pour son approvisionnement en énergies fossiles. Heureusement, en termes de production d'électricité, celles-ci ne couvrent que 7,9 % de notre production d'électricité, contre 55 % de notre consommation d'énergie primaire. Au cours des 10 premiers mois de 2019, les 4 centrales à charbon encore en activité en France n'ont compté que pour 0,2 % de la production électrique en France métropolitaine selon les dernières données de RTE. La loi énergie-climat prévoit leur arrêt définitif d'ici 2022.

En effet, la principale source d'électricité en France est l'énergie nucléaire, assurant 71 % de son mix électrique. La France est ainsi le pays le plus nucléarisé au monde, rapporté à son nombre d'habitants, ce qui lui garantit un taux d'indépendance énergétique parmi les plus élevés de l'Union européenne (53,1 %) ¹⁰⁹. À situation comparable, le taux d'indépendance énergétique du Japon, pays ne disposant d'aucune ressource énergétique sur son sol, est de 8,3 %.

Concernant le nucléaire de deuxième génération, la France a développé un savoir-faire lui permettant de maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur, de la conception et la

¹⁰⁹ SNBC, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

construction des centrales, à l'enrichissement et au recyclage du combustible. Elle est donc non seulement tributaire d'aucun savoir-faire technologique ou industriel extérieur, mais elle possède également un leadership reconnu internationalement. La seule dépendance extérieure réside dans l'approvisionnement d'uranium.

La dernière mine française, située à Jouac et exploitée par la Cogema (devenue Areva), a été fermée en 2001, en raison d'un manque de compétitivité face aux filières étrangères et au recyclage de l'uranium. Ainsi, 85 % de l'uranium est extrait par six pays seulement : le Kazakhstan, qui en extrait 40 % à lui seul, le Canada, l'Australie, la Namibie, le Niger et la Russie. Ce manque de diversification de sources d'approvisionnement pourrait représenter un coût politique et une menace pour la France, d'autant que la Chine s'est accaparé plusieurs gisements au Kazakhstan. Les risques géopolitiques seraient cependant faibles, le Kazakhstan se trouvant dans l'OCDE¹¹⁰.

Concernant les autres énergies primaires, en 2019, la facture énergétique française s'élève à 44,2 milliards d'euros en baisse de 1,4 milliard par rapport à 2018. Ce recul est lié à la chute des cours du gaz qui compense l'augmentation des importations, à la baisse de la part du charbon dans la production électrique française et à une part du pétrole restée stable.

b) Un changement de paradigme

Néanmoins, la donne semble en train de changer. Les conditions climatiques de la France, tout d'abord, ont évolué depuis les années 70. Les fortes canicules que nous traversons désormais laissent poindre des inquiétudes quant à un mix électrique très majoritairement fondé sur le nucléaire, dont le refroidissement des réacteurs est une donnée essentielle. Or, en période estivale, les pénuries de pluie sont maintenant fréquentes. Cette donnée climatique préoccupe EDF, car si les réserves d'eau nécessaires au fonctionnement des centrales ne sont plus assurées, l'arrêt de plusieurs centrales en période de crise pourrait devenir incontournable.

En parallèle, le parc nucléaire historique est vieillissant. Ainsi, en France, sur les 58 réacteurs installés, certains atteignent la durée de vie de 40 ans envisagée lors de leur construction, dont les deux de Fessenheim en cours d'arrêt. Leur remplacement par les EPR n'étant pas encore assuré, EDF s'engage dans un grand chantier de rénovation, le Grand Carénage, qui lui aussi va nécessiter des arrêts de production.

D'autant que les prévisions de l'Union Européenne plaident aussi pour une augmentation de la dépendance énergétique de l'Europe vis-à-vis d'autres pays au cours des prochaines années. Entre 1990 et aujourd'hui, la dépendance de l'Europe aux importations d'énergie est passée de 44,2 % de sa consommation brute d'énergie à 53,6 %. Afin de réduire cette dépendance, il est donc primordial que l'Europe limite sa demande énergétique, tout en élargissant son scope de compétences.

Or, la France est riche de ressources naturelles renouvelables, notamment de vent terrestre et marin. Le pays aurait donc tout intérêt à trouver les solutions techniques qui permettent d'exploiter efficacement ces deux gisements. Pourtant, la donne n'est pas si simple, le pays ayant maintenant pris du retard dans le développement de ces filières.

¹¹⁰ Données sur l'énergie nucléaire, OCDE, Nuclear Energy Agency, <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2019/7474-ned-2019.pdf>

Il est donc légitime de se demander comment la France en est arrivée à ce stade de fragilité de sa souveraineté, alors qu'elle semblait posséder tous les atouts d'un point de vue énergétique.

4.2 La stratégie américaine pour imposer son gaz de schiste en Europe

a) Une stratégie de longue haleine

Cela fait longtemps que les États-Unis ont compris les énormes enjeux inhérents au marché de l'énergie, dont ils ont fait un atout majeur de leur puissance. En 2019, ils sont les premiers producteurs de pétrole au monde (15 %), devant l'Arabie Saoudite (12,9 %) et la Russie (12,6 %), mais également les premiers producteurs de gaz naturel (21,5 %) devant la Russie (17,3 %). Dans un contexte d'augmentation croissante de la demande mondiale d'électricité, poussée par l'industrialisation rapide des pays émergents et la prise de conscience écologique sur le changement climatique, ils mesurent les opportunités de développement du marché des énergies décarbonées pour remplacer les énergies fossiles, dont les stocks sont appelés à s'épuiser. Ayant pris le leadership mondial sur le nucléaire dans les années 50, ils ont ensuite tenté de s'implanter dans les EnR. Rappelons qu'ils ont été les pionniers de l'industrie éolienne à la fin du XIXe siècle. En matière de production électrique, ils sont ainsi au premier rang mondial de la production d'énergie nucléaire et au 2^e rang mondial pour la production d'énergie éolienne (24 %) derrière la Chine. Cette prédominance sur le secteur énergétique participe grandement de leur statut de première puissance mondiale.

En ce qui concerne le secteur du gaz naturel, les États-Unis ont également réussi à prendre le leadership, à cause d'une erreur stratégique sur la période post-Fukushima de 2012-2014, durant laquelle la Russie a pratiqué des prix trop élevés du gaz en Europe. Les États-Unis sont alors entrés dans la concurrence en exportant leur gaz de schiste sous forme liquide, à bas prix. Les Américains sont aujourd'hui le plus gros producteur de gaz naturel au monde, ayant atteint un niveau de production record¹¹¹ en 2019. Afin d'élargir leur marché, les États-Unis auraient donc de forts intérêts à convertir l'Europe au gaz en lieu et place du nucléaire.

b) L'extraterritorialité, un moyen de déstabiliser la souveraineté énergétique de la France

Outre des opérations d'influence¹¹² auprès de la Commission Européenne pour orienter les politiques énergétiques de l'UE vers le gaz, les États-Unis mènent une guerre sans pitié contre leurs principaux concurrents. Ainsi, Donald Trump n'a pas hésité à s'opposer fermement au projet de gazoduc NordStream 2¹¹³ qui permettrait de relier la Russie à l'Allemagne pour faciliter l'approvisionnement de l'Europe occidentale en gaz russe.

¹¹¹ <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/les-etats-unis-font-seffondrer-le-prix-du-gaz-en-inondant-le-marche-mondial-1164977>

¹¹² <https://www.usinenouvelle.com/article/une-enquete-pointe-le-lobbying-agressif-des-industriels-du-petrole-et-du-gaz-a-bruxelles.N902539>

¹¹³ https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/12/21/nord-stream-2-trump-signe-la-loi-imposant-des-sanctions-contre-le-gazoduc-qui-doit-relier-la-russie-et-l-allemande_6023691_3234.html

Cependant, l'arme la plus puissante des États-Unis pour évincer ses concurrents reste l'extraterritorialité du droit américain¹¹⁴. Sous couvert de lutte contre la corruption, le Department of Justice (DOJ) américain s'octroie le droit de sanctionner lourdement toute entreprise, quelle que soit sa nationalité, qui contreviendrait aux intérêts des États-Unis en dehors du territoire national américain. Ce principe d'extraterritorialité a été ajouté en 1998 au Foreign Corrupt Practices Act (FCPA), voté en 1977 pour faire suite au scandale du Watergate. Selon Ali Laïdi, qui a enquêté pendant 2 ans sur le sujet, un certain nombre de ses règles auraient été adoptées par l'OCDE en 1997 sans que les Européens n'aient conscience des conséquences que cela allait engendrer¹¹⁵. Dans le domaine énergétique français, Siemens en 2008, Total en 2013, le pétrolier Technip en 2017, mais surtout Alstom en 2014 en ont fait la douloureuse expérience. Quant à l'affaire du rachat d'Uramin par Areva, elle est toujours en cours. En juin 2019, le député LREM Raphaël Gauvain a remis un rapport¹¹⁶ au premier ministre Édouard Philippe, afin de tenter de contrer ce principe d'extraterritorialité du droit américain.

c) L'affaire Alstom

En janvier 2014, le laboratoire Atalante¹¹⁷, dédié à l'étude du cycle des combustibles est récompensé par l'American Nuclear Society, le lobby de l'industrie nucléaire américaine, au cours d'une visite de son président Daniel Hoffman à Marcoule (Gard). À cette occasion, ce dernier déclare¹¹⁸ « *Il n'y a pas assez de transferts de technologies à mon goût entre la France et les États-Unis. Il y a tellement de compétence sur les cycles nucléaires en France... EDF est un acteur global, qui a fait beaucoup pour la standardisation, que nous n'avons pas aux États-Unis puisque nos cent réacteurs nucléaires sont exploités par 32 opérateurs et même si elles collaborent d'un point de vue technologique, nous aurions beaucoup à gagner en bénéficiant de davantage de transfert de technologie.* »

11 mois plus tard, le 19 décembre 2014, à la suite de rebondissements litigieux, l'assemblée générale des actionnaires d'Alstom autorise la vente des activités de sa branche Énergie, Alstom Power, à General Electric (GE) pour près de 13 milliards d'euros. Or, en parallèle de la négociation de cette vente, le Department of Justice menait une enquête pour corruption contre Alstom depuis 2010 qui se solda par une amende de 772 millions de dollars et l'emprisonnement pendant 25 mois d'un cadre dirigeant du groupe, Frédéric Pierucci¹¹⁹, le vice-président Monde de la division chaudière. Grâce à la vente de ses activités énergie à GE, Alstom aurait échappé à une condamnation plus lourde encore. Cette vente, à laquelle avait tenté de s'opposer en vain Arnaud Montebourg, ministre de l'Économie d'avril à août 2014, sera finalisée par son successeur, Emmanuel Macron. Soupçonné de « pacte de corruption »

¹¹⁴ Rapport sur l'extraterritorialité de la législation américaine, Assemblée Nationale, février 2016, <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-info/i4082.pdf>

¹¹⁵ Diplomatie, Les grands dossiers n° 47, Octobre-Novembre 2018, p. 88

¹¹⁶ Assemblée Nationale, Rapport Gauvain, juin 2019, <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/194000532.pdf>

¹¹⁷ <https://www.sfen.org/rgn/atalante-innovation-coeur-cycle-combustible-nucleaire>

¹¹⁸ https://www.challenges.fr/entreprise/le-lobby-nucleaire-americain-rend-hommage-a-la-france_169014

¹¹⁹ Frédéric Pierucci, Le Piège américain, Lattes, 2019

par le député Olivier Marleix (LR)¹²⁰, l'actuel président de la République française est visé par une enquête du Parquet National Financier (PNF).

Il semble qu'Alstom ait fait les frais de la guerre économique qui oppose les USA à la Chine. En effet, peu de temps avant son rachat par GE, Alstom s'apprêtait à pactiser avec deux entreprises chinoises, Dongfang Electric, pour la fourniture de turbines et d'alternateurs pour les futurs projets de réacteurs nucléaires AP 1000, et Shanghai Electric, par le biais d'une joint-venture dans le domaine des chaudières pour centrales électriques à charbon. Avec cette alliance, les Chinois risquaient de doubler les États-Unis sur plusieurs secteurs de l'énergie. En outre, le rachat du fleuron industriel français permet à GE de diversifier son activité sur des segments où elle n'est pas présente afin d'asseoir sa domination. GE récupère ainsi le brevet des turbines à vapeur Arabelle¹²¹ qui équipent plus de la moitié des centrales nucléaires du monde ainsi que des bâtiments stratégiques de la Marine comme le porte-avion Charles De Gaulle ou certains sous-marins nucléaires. Alstom Power est également présent sur toutes les technologies de production d'électricité, y compris renouvelables. L'entreprise est en particulier leader mondial des turbines hydrauliques, mais elle est aussi à la pointe de la technologie dans divers domaines que GE ne maîtrise pas¹²² (charbon, vapeur, hydraulique, réseau de transport électrique).

Par ailleurs, le rachat d'Alstom Power par GE rend la France dépendante de l'entreprise américaine pour la maintenance et le remplacement de certaines pièces de ses centrales et sous-marins nucléaires, une bonne façon d'avoir la mainmise sur les secteurs énergétiques et militaires de la France. En cas d'opposition de la France à une décision américaine, les USA peuvent faire pression sur l'Hexagone.

Enfin, ce rachat permet également à GE de se lancer sur le marché de l'éolien offshore, puisque l'entreprise récupère le brevet des machines Haliade150 développées par Alstom. Ainsi, GE équipera le premier parc offshore des États-Unis, Deepwater, installé en 2016 à Block Island, grâce à 5 machines Haliade construites en France.

d) Un autre levier d'action : les mouvements antinucléaires

Un autre levier d'influence semble avoir été développé par les États-Unis à partir des années 70 pour tenter de freiner l'ascension de ses concurrents et assurer sa domination énergétique, stratégie qui peut encore lui servir aujourd'hui pour imposer le gaz à l'Europe. Il s'agirait d'activer les mouvements écologistes dans le but d'une part d'alimenter le débat antinucléaire et d'autre part plus récemment, de faire adopter par l'Europe les énergies renouvelables en lieu et place du nucléaire. En effet ces énergies, en particulier les éoliennes, nécessitent le développement d'une source d'énergie complémentaire, telle que le gaz, pour compenser leur intermittence. Le désengagement du nucléaire en France au profit des énergies éoliennes et solaires favoriserait ainsi le déploiement de centrales à gaz.

Les mouvements antinucléaires, aux États-Unis comme à travers le monde, semblent trop puissants et expérimentés pour ne pas être soutenus sur le plan politique et économique.

¹²⁰ Commission d'enquête Olivier Marleix, [http://www2.assemblee-nationale.fr/15/autres-commissions/commissions-d-enquete/commission-d-enquete-sur-les-decisions-de-l-etat-en-matiere-de-politique-industrielle-notamment-dans-les-cas-d-alstom-d-alcatel-et-de-stx/\(block\)/RapEnquete/\(instance_leg\)/15/\(init\)/0-15](http://www2.assemblee-nationale.fr/15/autres-commissions/commissions-d-enquete/commission-d-enquete-sur-les-decisions-de-l-etat-en-matiere-de-politique-industrielle-notamment-dans-les-cas-d-alstom-d-alcatel-et-de-stx/(block)/RapEnquete/(instance_leg)/15/(init)/0-15)

¹²¹ https://www.iveris.eu/list/tribunes_libres/61-la_turbine_arabelle_ou_lindependance_technologique_francaise

¹²² Racket américain et démission d'État, CF2R, 2014, <https://cf2r.org/wp-content/uploads/2014/12/rr13.pdf>

Selon William Engdahl, auteur du livre « OGM, Semences de destruction »¹²³ les Rockefeller seraient bien à l'origine de l'émergence des mouvements écologistes à travers le monde. « Brice Lalonde, directeur des Amis de la Terre en France et futur ministre de l'Environnement de François Mitterrand en 1989, était à l'époque le partenaire parisien de Coudert Frères, cabinet juridique allié à la famille Rockefeller », ajoutant qu'en 1972-1973 « une propagande antinucléaire massive put être lancée avec des millions de dollars mis à disposition par les réseaux pétroliers de l'Atlantic Richfield Company, du Rockefeller Brothers Fund et d'autres milieux de l'establishment anglo-américain ».

En analysant les relations entre ces différents acteurs, il apparaît que l'hégémonie américaine dans le discours antinucléaire au travers des mouvements écologistes semble plausible.

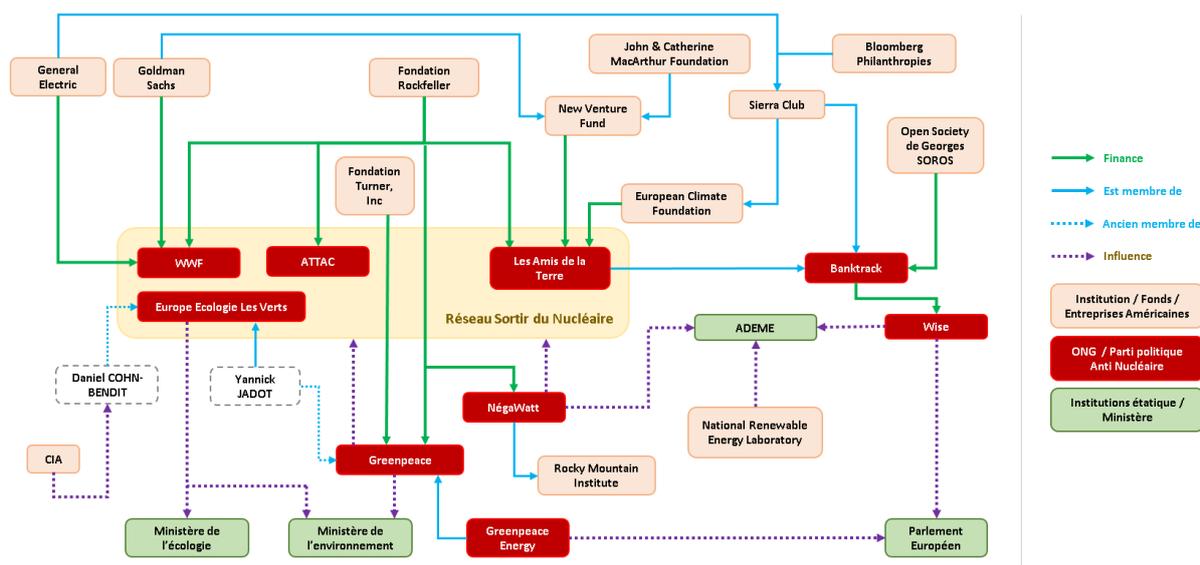


Figure 27 : Cartographie d'acteurs du mouvement écologiste

Cette carte a été établie notamment grâce à la législation américaine, qui oblige les fondations privées à but non lucratif à publier le détail de la déduction fiscale dont elles bénéficient suite aux dons qu'elles ont versés à des ONG. Ces déductions s'élèvent à des centaines de millions de dollars par an. Cette carte met en lumière le rôle fondamental de la fondation Rockefeller, entre autres fonds américains, dans le financement des ONG antinucléaires mondiales comme Les Amis de la Terre, le WWF ou Greenpeace. Le site web du Rockefeller Brothers Fund¹²⁴, met à disposition une base de données révélant les montants alloués aux ONG en toute transparence. Il est ainsi bien sûr fortuit que le Rockefeller Brothers Fund se soit engagé à se désinvestir des énergies fossiles et que la France soit attaquée au même moment. Outre le fait que ces ONG peuvent servir à déstabiliser un concurrent, leur financement permet également d'en prendre partiellement le contrôle. « L'énergie sera toujours un levier économique », explique David Rockefeller Junior¹²⁵ dans une interview accordée au journal suisse Bilan en 2013, « Si mon grand-père

¹²³ <http://alerte-environnement.fr/la-face-cachee-des-ong/dossier-le-conspirationnisme/jose-bove-est-il-a-la-solde-de-la-fondation-rockefeller/>

¹²⁴ <https://www.rbf.org/grants-search>

¹²⁵ https://www.bilan.ch/luxe/susan_david_rockefeller_quand_l_or_noir_vire_au_vert

était vivant aujourd'hui, il aurait très certainement exploré l'univers très prometteur des énergies renouvelables et cherché à améliorer l'impact négatif du pétrole et du gaz. ».

Par exemple, les Amis de la Terre France font l'objet d'aides financières de la part de plusieurs acteurs influents dans le domaine des énergies renouvelables comme l'European Climate Foundation (ECF). Or, cette carte montre que des membres du Sierra Club, dont GE est membre, font également partie de cette organisation. De même que l'Open Society de Georges Soros finance la Banktrad dont certains membres font également partie des Amis de la Terre.

En allant plus avant, nous apprenons dans l'article « Behind the environmental lobby »¹²⁶ qu'en 1985, le tentaculaire Rockefeller Family Fund a créé l'Environmental Grantmakers Association (EGA), un groupe de donateurs destiné à rendre plus efficace le financement des mouvements écologistes. Toujours dans cet article, le journal de gauche Mother Jones est cité à propos de la capacité de l'EGA à contrôler les mouvements écologistes de base : « *En décidant quelle organisation a l'argent, les donateurs contribuent à fixer l'agenda du mouvement écologiste et influencer les programmes et les stratégies des activistes* ». Sur le site activistfacts.com¹²⁷, nous apprenons que le Rockefeller Brothers Fund a donné 780 000 dollars à Greenpeace (entre 1997 et 2003) et 1,4 million de dollars aux Amis de la Terre (entre 1994 et 2001). Nous retrouvons aussi la trace plus récente du financement de l'ONG ATTAC par cette même fondation.

À ce titre, il est intéressant de se pencher sur l'émergence du parti politique Europe Ecologie Les Verts (EELV), qui prend racine dans le mouvement antinucléaire français. Parmi les anciens membres de ce parti, Daniel Cohn-Bendit, antinucléaire, est le principal protagoniste du mouvement de Mai 68. Selon le livre de Charles Saint-Prot, « Mai 68, la révolution des imbéciles », Daniel Cohn-Bendit, dit « Dany le rouge », aurait été encouragé par la CIA dans l'optique de renverser le Président de la République française Charles De Gaulle. Lors de la guerre de Yougoslavie, D. Cohn-Bendit a été le défenseur français des bombardements américains. Son soutien incontesté aux Américains s'est à nouveau exprimé lors de la première et de la seconde guerre du Golfe. Cet « agent américain » s'était d'ailleurs allié à Yves Cochet pour demander un referendum sur la sortie du nucléaire. Il lancera en 2011 le mouvement « European Young Leaders » sur le modèle du programme américain du même nom.

De même, Yannick Jadot, actuellement à la tête d'EELV, est un ancien directeur de campagne de Greenpeace France, où il exerça de 2002 à 2008. Or, Greenpeace est également assujettie au financement des États-Unis. Pro-EnR, Y. Jadot déclarera en 2011 : « *Il faut remplacer l'atome par le vent et le soleil* »¹²⁸. La force de ce parti se résume dans la parole de Loïck Le Floch-Prigent, ancien dirigeant de plusieurs entreprises françaises de l'industrie énergétique : « *La fragilisation de notre filière nucléaire est issue uniquement d'un calcul politique médiocre consistant à rechercher les votes antinucléaires* ».

¹²⁶ Behind the environmental lobby, The Free Library, avril 2005, <https://www.thefreelibrary.com/Behind+the+environmental+lobby%3A+it+may+seem+stranger+than+fiction%2C+...-a0131199395>

¹²⁷ <http://www.activistcash.com>, <https://activistfacts.com/>

¹²⁸ EELV, novembre 2011, <https://eelv.fr/nucleaire-nicolas-sarkozy-ment-deliberement-aux-francais/>

e) Les Young Leaders

Le programme « Young Leaders » est l'opération phare de la French American Foundation (FAF), créée par Valéry Giscard d'Estaing et Gerald Ford en 1976, dans un contexte de relations franco-américaines tendues en raison du choc pétrolier notamment¹²⁹. Officiellement dédié à favoriser le dialogue franco-américain, ce programme serait en fait piloté par les services de renseignement américains pour influencer les futurs décideurs et leaders d'opinion français en faveur des États-Unis. Le premier séminaire a lieu en 1981. Parmi ces Young Leaders, figurent notamment Emmanuel Macron, Edouard Philippe, Jean-Marc Jancovici ou François Hollande. Ce dernier, Président de la République française de 2012 à 2017, sera l'un des protagonistes du démantèlement de la filière nucléaire française, prenant notamment la décision de fermer la centrale de Fessenheim, en novembre 2011 à la veille du scrutin présidentiel pour rallier l'appui des écologistes à sa candidature. Il s'avérera également un acteur majeur, avec Emmanuel Macron, de la vente d'Alstom Power à GE. Il est enfin l'initiateur du grand débat national sur la transition énergétique de 2013 et de la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015. Cyrille Cormier, de Greenpeace, n'a-t-il pas déclaré : « *C'est la première fois en France qu'un Président de la République dit que l'on peut réduire la part du nucléaire* ». Rappelons que traditionnellement, les dirigeants européens sont très coopératifs avec les Américains, en échange d'une protection face à la menace soviétique. Ces décisions auraient-elles participé de cette logique ?

f) L'influence américaine par les agences d'information financière

Bloomberg LP est un groupe d'information économique et de services destinés aux professionnels de la finance. Il a été créé en 1981 par Michael Bloomberg, éminent homme d'affaires américain et ancien maire de New York. Plusieurs entités le composent, dont Bloomberg News, l'agence de presse du groupe, ainsi que des agences spécialisées dans la diffusion de données financières par secteur. Ces agences sont réputées pour le sérieux de leurs analyses, largement employées dans le milieu financier. Elles font donc référence en matière d'études et de prospective économiques.

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) est l'agence spécialisée dans les énergies décarbonées. Elle publie chaque année ses prévisions sur l'évolution du mix énergétique mondial. Or, la version 2018 de son « New Energy Outlook » (NEO)¹³⁰ s'est, pour la première fois, prononcée sur l'horizon 2050, une projection qui a été confirmée dans sa version 2019. Son scénario prévoit que les énergies renouvelables couvriront plus de 60 % de l'électricité mondiale à cette date, dont près de 50 % d'énergies éolienne (26 %) et solaire (22 %), contre 11 % pour le charbon et 1 % pour le pétrole. En ajoutant la part du nucléaire (6 %), le taux mondial d'électricité décarbonée grimperait ainsi à près de 70 %. Pourtant, en 2017, les énergies fossiles représentaient encore les 2/3 du mix, dont 38 % de charbon¹³¹.

¹²⁹ <https://www.monde-diplomatique.fr/2016/11/QUATREPOINT/56762>

¹³⁰ NEO 2019, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>

¹³¹ <https://www.comwatt.com/blog/energie/etudes-energie/previsions-2018-bloomberg-enr-2050/>

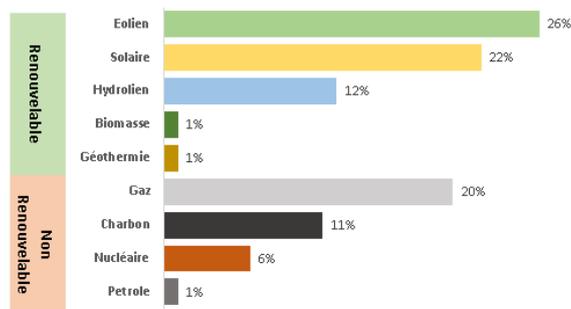


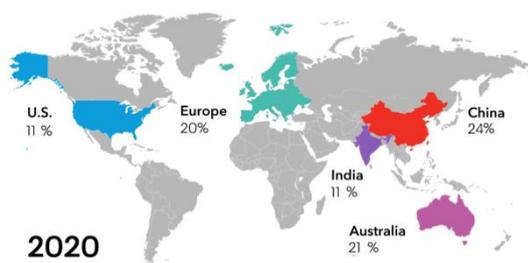
Figure 28 : BloombergNEF 2018

L'analyse de Bloomberg se fonde sur la projection d'une importante baisse des coûts des EnR ainsi que des batteries de stockage, qui devraient se développer massivement dans les prochaines années selon l'agence. Ainsi, BNEF affine ses données pour chaque région du monde à l'horizon 2050¹³² :

- Aux États-Unis, les EnR et le gaz devraient se substituer au nucléaire et au charbon
- La Corée du Sud suivrait exactement la même tendance, substituant 72 % de charbon et de nucléaire à 71 % de gaz et EnR
- En Chine, les EnR atteindraient pas moins de 46 % du mix énergétique
- Le Japon devrait compter 34 % de capacité installée en EnR
- L'Inde serait le seul pays misant encore sur le charbon jusqu'en 2030, qui décroîtrait ensuite en faveur des EnR
- Quant à l'Europe, l'expansion des énergies renouvelables assurerait 90 % du mix électrique d'ici 2040, dont 80 % d'éolien et de solaire. La France resterait malgré tout l'exception culturelle, conservant 15 % d'énergie nucléaire dans son mix électrique.

BNEF évalue également la progression du solaire et de l'éolien entre 2020 et 2050 :

Solar and wind penetration in the energy mix
(Source: BloombergNEF)



Solar and wind penetration in the energy mix
(Source: BloombergNEF)

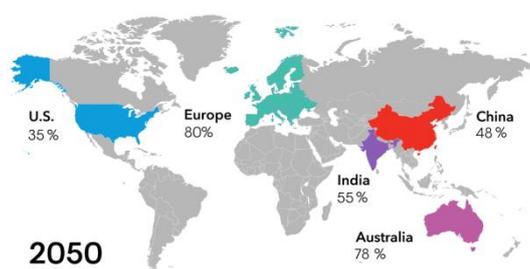


Figure 29 : Part des centrales solaires et éoliennes dans les mix électriques des principaux pays en 2020 et 2050.
Source : Bloomberg NEO 2019

À propos de cette étude, Elena Giannakopoulos, économiste chez BNEF, explique que « *Le charbon apparaît comme le grand perdant à long terme. Bâti sur l'éolien et le photovoltaïque pour la production d'électricité, et sur les batteries et le gaz pour la flexibilité, le système*

¹³² <https://www.usinenouvelle.com/article/68-d-electricite-renouvelable-dans-le-monde-en-2050-selon-bloomberg.N712264>

électrique va se réorganiser autour des renouvelables bon marché. Le charbon sera évincé »¹³³.

Ainsi, il est intéressant de noter que, selon BNEF, la capacité installée des centrales à gaz, présentées comme la variable d'ajustement pour assurer la flexibilité qu'il manque à ces deux EnR, devrait doubler d'ici 2050.

Selon le World Energy Outlook 2019¹³⁴, les courbes prévisionnelles de l'AIE, se fondant sur les Stated Policies Scenarios (STEPS)¹³⁵, politiques réellement déclarées par les États, semblent confirmer cette tendance à la hausse du solaire et de l'éolien, ainsi que du gaz.

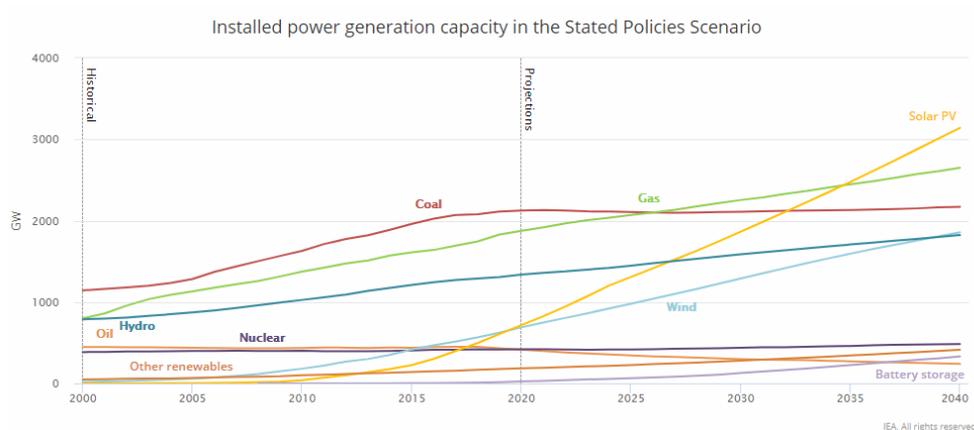


Figure 30 : Capacité de production d'électricité installée dans le scénario 2000-2040

Néanmoins, il apparaît qu'elles font état des puissances installées et non des productions attendues. De plus, selon l'AIE, au vu des divers scénarios d'évolution énergétique des gouvernements mondiaux, la part des énergies fossiles sera encore fortement présente dans le mix énergétique mondial en 2050, les tendances actuelles n'étant pas suffisantes pour atteindre les objectifs des Accords de Paris. En effet, les trois scénarios¹³⁶ de l'AIE en matière d'émission de gaz à effet de serre pour 2050 confirment une forte part d'énergie fossile dans les mix énergétiques mondiaux.

¹³³ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/2050-mix-electrique-renouvelable-gaz-batterie-bloomberg-31574.php4>

¹³⁴ World Energy Outlook 2019, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

¹³⁵ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-power-generation-capacity-in-the-stated-policies-scenario-2000-2040>

¹³⁶ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-primary-energy-demand-and-energy-related-co2-emissions-by-scenario>

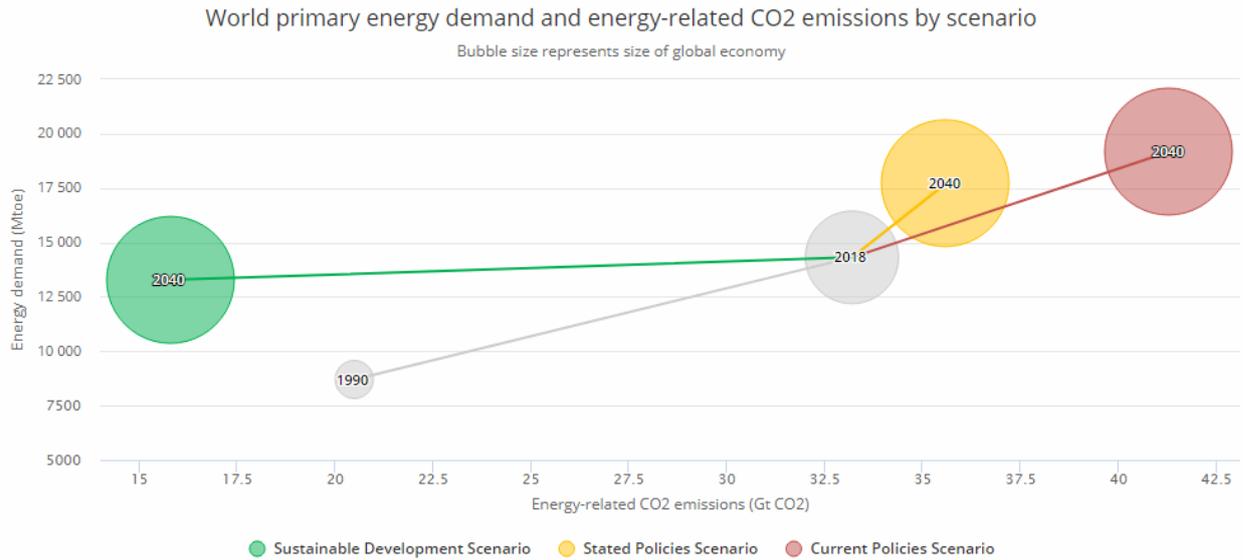


Figure 31 : Présentation des 3 scénarios de l'AIE en fonction de leurs émissions de CO2

Alors, où la vérité se situe-t-elle entre ces deux prévisions ? Afin de répondre à cette question, nous nous proposons de rapprocher les projections de BNEF avec les plans énergétiques officiels des plus gros pays du monde à horizon 2050 :

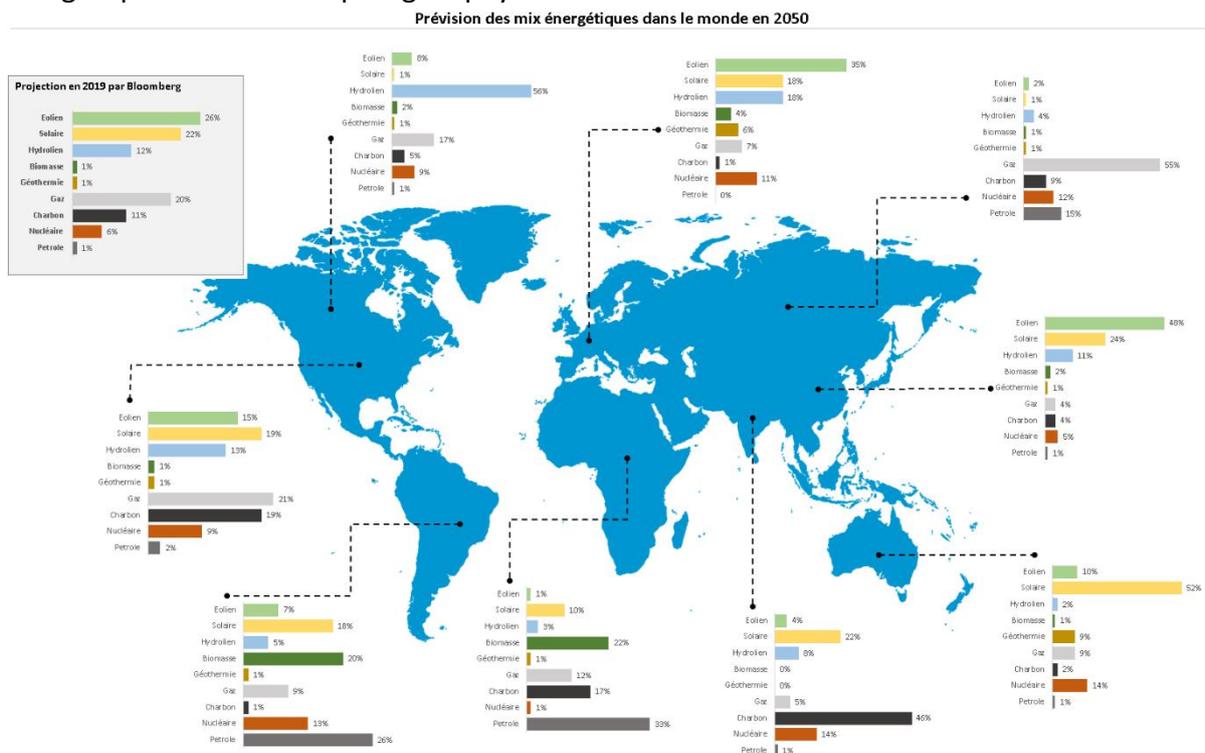


Figure 32 : Comparaison des prévisions de mix énergétiques dans le monde à l'horizon 2050

Cette carte a été réalisée à partir des sources suivantes :

Pays/Continent	Source Mix Énergétique pour 2050
États-Unis	US Energy Information Administration (EIA)
Canada	Canadian Electricity Association
Chine	China National Renewable Energy Centre

Europe	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)
Inde	National Institution for Transforming India (NITI)
Russie	The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences
Brésil	Institute for Sustainable Development and International Relations
Afrique	European Commission, Joint Research Centre - Energy projections for African countries
Australie	Renew Economy – Clean Energy News and Analysis

Or, elle met en exergue des divergences par rapport à la prévision mondiale de BloombergNEF :

- Il semble qu'en dehors de l'Europe et de la Chine, aucun autre pays du monde ne mise autant sur l'énergie éolienne,
- L'énergie solaire ne connaîtra pas non plus une telle progression, excepté en Chine, en Inde et en Australie,
- En ce qui concerne la place du gaz, elle serait moins élevée que prévu, à part, logiquement, en Russie et aux États-Unis,
- Enfin, il semble que l'énergie nucléaire occupera une place plus importante dans le mix mondial, excepté en Chine et sur le continent africain.

Au regard des différentes politiques énergétiques étudiées, il semble donc que les États-Unis tentent d'imposer à l'Europe, via les prévisions de Bloomberg, une vision tout autre de la réalité, afin d'influencer les États en faveur de son modèle énergétique.

4.3 L'Allemagne, le berceau des antinucléaires

a) Un pays leader dans l'énergie éolienne

Une autre menace pour la souveraineté énergétique de la France provient de notre principal allié dans l'Union Européenne : l'Allemagne. En effet, ce pays, précurseur de l'énergie éolienne, reste le leader incontesté de ce marché. Première capacité installée en Europe¹³⁷ (61,4 GW, dont 7,5 GW d'éolien offshore), l'Allemagne compte près de 30 000 éoliennes terrestres sur son territoire, et 1500 éoliennes en mer. La production d'électricité éolienne atteint 104TWh en 2019, couvrant 18 % de la consommation finale d'électricité. Cette performance résulte d'une politique de soutien massif aux énergies renouvelables, principalement à l'éolien, depuis l'EnergieKonzept, signé en 2010, qui a donné lieu à l'Energiewende après l'accident nucléaire de Fukushima.

Or, l'Allemagne a placé comme prérequis de sa politique de transition énergétique des retombées économiques positives pour le pays. Elle a notamment détecté le potentiel socioéconomique de la filière éolienne, qui représenterait 160 000 emplois en Allemagne. Ainsi, en 2019, 4 des leaders de l'industrie éolienne mondiale étaient Allemands : Enercon, Nordex, Senvion et, en coopération avec l'Espagne, Siemens-Gamesa.

À noter que l'industrie éolienne traverse actuellement une crise très importante, liée à l'amendement de l'Energiewende en 2016 ayant entériné la fin des tarifs de rachat garantis, jugés trop lourds à supporter pour le contribuable. En parallèle, une fronde populaire anti-éolienne se manifeste en Allemagne.

¹³⁷ <https://allemagne-energies.com/2020/02/11/bilan-2019-de-leolien-en-allemande/>

Selon une étude réalisée en 2018 par l'Institut Fraunhofer pour les systèmes d'énergie solaire, le coût de la production d'énergie solaire diminuera plus rapidement au cours des 17 prochaines années que celui de l'énergie éolienne. En 2035, les installations photovoltaïques du sud de l'Allemagne, où l'ensoleillement est plus important, produiront une énergie nettement moins chère que tout autre type d'installation. Même dans le nord de l'Allemagne, moins ensoleillé, l'électricité issue de l'énergie solaire produite par des installations de taille industrielle sera aussi bon marché que celle provenant de l'éolien terrestre.

Les projections allemandes sont parfaitement en phase avec la tendance mondiale actuelle : le coût moyen mondial de production d'énergie solaire a diminué de 77 % entre 2010 et 2018, par rapport à une baisse de 35 % pour l'éolien terrestre sur la même période. Les progrès technologiques sont à l'origine de la réduction des coûts de l'énergie solaire. La baisse des prix des panneaux solaires a récemment ralenti, mais à long terme, le marché potentiel, et donc les économies d'échelle attendues, semblent plus importantes pour le solaire que pour l'éolien. Il est possible d'installer un panneau solaire sur chaque toit s'il est suffisamment bon marché, mais les éoliennes ont besoin de beaucoup plus d'espace.

L'Allemagne pourrait donc avoir intérêt à commercialiser massivement ses éoliennes hors de ses frontières, son marché intérieur étant saturé et le secteur n'ayant plus autant de potentiel.

b) L'OFATE

En France, l'Allemagne peut s'appuyer sur l'Office franco-allemand pour la transition énergétique¹³⁸, créé en 2006 par les gouvernements français et allemand. Cet organisme, supposé coordonner les politiques franco-allemandes de transition énergétique, serait en fait un lobby de défense des industries françaises et allemandes des EnR, et de l'éolien en particulier. Ses bureaux parisiens sont situés dans les locaux du Ministère de la Transition Ecologique et solidaire, tandis qu'à Berlin, il est situé au ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie allemand. Ces deux ministères financent l'organisme à hauteur de près de 40 %. L'OFATE regroupe plus de 200 adhérents, parmi lesquels les syndicats professionnels FEE et le SER, ainsi que les plus grosses entreprises du secteur des EnR telles que Siemens, Nordbank, Senvion et Enercon. Œuvrant depuis ses débuts au renforcement des capacités éoliennes en France, l'OFATE serait d'autant plus actif à l'heure où le marché intérieur allemand montre des signes importants de saturation. Il aurait donc doublement intérêt en ce moment à ce que la France renforce ses capacités de production d'énergie éolienne, de façon à écouler les machines allemandes¹³⁹.

c) Greenpeace Energy

Greenpeace Energy¹⁴⁰ est un fournisseur d'électricité dite verte, fondé le 27 octobre 1999 par l'ONG Greenpeace, sous le régime de la coopérative. La motivation officielle de Greenpeace pour lancer cette activité était qu'il n'existait aucun fournisseur d'électricité renouvelable en Allemagne. Aujourd'hui, Greenpeace Energy est l'un des principaux fournisseurs allemands d'électricité et Greenpeace ne détiendrait plus que quelques parts

¹³⁸ OFATE, <https://energie-fr-de.eu/fr/>

¹³⁹ Fabien Bouglé, *la Face noire de la transition écologique*, Editions du Rocher, 2019

¹⁴⁰ <https://www.greenpeace-energy.de>

de la société. Nous ne nous attarderons pas sur le cas de Greenpeace qui a été largement détaillé par Thibault de Kerlirzin dans son ouvrage « Greenpeace, une ONG à double fond(s) ». Cependant, nous rappellerons que d'après ses investigations, Greenpeace, sous couvert de lutter contre le nucléaire, aurait pour objectif de s'en prendre aux entreprises énergétiques françaises, en l'occurrence EDF et Areva, alors que l'ONG n'a jamais cherché à contrer les intérêts des entreprises américaines, chinoises ou allemandes du secteur¹⁴¹. Le dernier Guide pour une électricité verte¹⁴², publié par Greenpeace en novembre 2019, qui consiste en un classement des fournisseurs d'énergie sur des critères environnementaux, continue à dénigrer EDF et sa filiale Engie, qui se déclare pourtant le leader de la production d'énergies renouvelables en France¹⁴³, comme les mauvais élèves de la catégorie. Selon Fabien Bouglé, auteur d'un ouvrage à charge contre les éoliennes, « *le problème de Greenpeace, c'est un conflit d'intérêts. Elle est à la fois association de défense de l'environnement, mais en même temps promoteur éolien via Greenpeace Energy. Son bras gauche lutte contre le nucléaire, son principal concurrent économique. Et son bras droit développe l'éolien d'un point de vue économique. Il y a donc un conflit d'intérêt en particulier dans le cadre de ses partenariats avec le principal fabricant d'éoliennes au Danemark*¹⁴⁴. »

d) Les conséquences de la perte d'Areva Wind

Enfin, l'Allemagne aurait participé au démantèlement de la filière éolienne française. En 2007, Areva projette de se lancer dans l'éolien offshore, un secteur prometteur, bien que ne bénéficiant pas du même système de soutien que l'éolien terrestre. L'entreprise rachète alors 51 % de la société éolienne allemande Multibrid, puis, en 2009 l'entreprise de fabrication de pales et de rotor PN Rotor. Areva Wind est ainsi créée¹⁴⁵, s'installant à Bremerhaven, considérée comme la capitale mondiale de l'éolien, dans la région de Hambourg. Cependant, les difficultés financières de l'entreprise conduisent Areva à chercher des partenaires pour assurer la croissance d'Areva Wind. Son choix se porte sur l'entreprise espagnole Gamesa, avec laquelle Areva donne naissance à une coentreprise, Adwen. En 2015, Adwen est le deuxième fournisseur éolien européen offshore, avec 18,2 % de parts de marché, au prix de 216 millions d'euros de perte. Cependant, en juin 2016, Gamesa et Siemens, détenant 63 % du marché européen de l'éolien offshore, fusionnent. Areva n'aura alors d'autre choix que de vendre ses parts d'Adwen à Gamesa, vente annoncée le 14 septembre 2016¹⁴⁶. Cette vente marque la fin de l'industrie éolienne française et permet en revanche à Siemens d'accéder aux nouveaux systèmes de subventions annuelles accordées à l'éolien offshore français dont l'objectif était d'aider au développement d'une filière industrielle française.

¹⁴¹ Thibault Kerlirzin, Greenpeace, une ONG à double fond(s), p. 203

¹⁴² Greenpeace, Guide pour une électricité verte, <https://www.guide-electricite-verte.fr/>

¹⁴³ <https://www.engie.fr/energies-renouvelables/>

¹⁴⁴ <https://www.breizh-info.com/2019/10/09/128472/fabien-bougle-climat-eoliennes-economie-mafia/>

¹⁴⁵ <https://reporterre.net/Areva-abandonne-l-eolien-industrie-de-l-avenir>

¹⁴⁶ https://www.challenges.fr/challenges-soir/eolien-offshore-un-fiasco-economique-et-politique-pour-areva_425900

4.4 Une bataille de l'industrialisation de la filière mal engagée

a) Le marché énergétique français à la croisée de nombreux intérêts

En plus des États-Unis et de l'Allemagne, d'autres pays ont intérêt à déstabiliser l'hégémonie du nucléaire en France, notamment la Russie, motivée, tout comme les USA, par le développement du marché du gaz en France.

Comme l'exprimait Alain Juillet lors d'une audition à l'Assemblée Nationale¹⁴⁷ le 21 février 2018, « en matière d'éoliennes, c'est vers la Chine, leader mondial dans le domaine, qu'il faut regarder, car la France subventionne des éoliennes fabriquées par les Chinois grâce à des sociétés implantées en Europe pour contourner les lois européennes : c'est ça qui est intéressant et que les gens doivent savoir ! ». En effet, la Chine, du fait de sa stratégie très offensive sur le marché des énergies renouvelables, représente une réelle menace. D'une capacité d'innovation technologique faible dans ce domaine, le pays a misé sur une stratégie industrielle de coopération internationale par le biais d'investissements massifs. Elle a ainsi représenté près de 40 % des investissements mondiaux dans les EnR en 2017¹⁴⁸. Si elle a d'abord compté sur les transferts de technologies que ces investissements pouvaient lui rapporter, elle a dû faire face à l'inquiétude de certains pays dont les USA, la France et l'Allemagne, concernant les risques d'espionnage industriel, les conduisant à renforcer leur filtrage des investissements directs étrangers (IDE). Elle se réoriente maintenant vers l'internationalisation de ses propres entreprises¹⁴⁹ désormais en pointe sur ces technologies, et leaders de ce marché.

Le dernier pays qui pourrait avoir intérêt à implanter des éoliennes en France est le Danemark, dont l'entreprise Vestas est l'incontestable leader.

b) Une filière éolienne française à l'état embryonnaire

La vente d'Alstom à GE et d'Adwen à Siemens, entre autres, ont conduit au démantèlement de la filière éolienne française.

En 2020, à l'heure où les investissements n'ont jamais été aussi importants au regard des capacités à installer d'ici 2035, la France ne compte plus aucun fabricant ni fournisseur d'éoliennes dans le « top 10 » mondial. Selon le Centre d'Analyse Stratégique (CAS), Vergnet, l'unique constructeur français, ne représente que 10 % de part de marché dans l'Hexagone. A défaut de mesures politiques d'industrialisation adéquates, le développement de la filière en France profitera donc aux industries étrangères, déjà bien implantées et compétitives.

Les sous-traitants français du secteur seraient néanmoins nombreux, plus de 600, et bien implantés à l'étranger. Une activité à laquelle s'ajouterait celle de la maintenance des parcs installés, à raison d'un technicien par dizaine de mâts implantés.

Un espoir renaît pourtant sur un nouveau créneau de l'énergie éolienne, l'éolien flottant. En effet, selon la dernière PPE, les champs flottants prévus en Bretagne et en Méditerranée seraient une première mondiale, fondée sur un savoir-faire français unique, maîtrisé par les

¹⁴⁷ http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/comptes-rendus/cepolind/l15cepolind1718027_compte-rendu.pdf

¹⁴⁸ <https://www.lemondedelenergie.com/chine-peut-elle-devenir-verte/2019/09/13/>

¹⁴⁹ Nicolas Mazzucchi, Diplomatie n° 97, Nucléaire civil, vers une nouvelle renaissance

sociétés Eolfi, Idéol, Naval Énergies, ou Quadran Énergies marines. La technologie Ideol aurait déjà été vendue au Japon. Or, selon l'European Wind Energy Association, 80 % de la ressource éolienne européenne se situerait au-dessus de fonds de plus de 60 m de profondeur, hors de portée de l'éolien fixe. Cependant, cette technologie en est encore à un stade de développement incertain, aucun parc n'étant encore en exploitation.

PARTIE 5/QUELS AUTRES ENJEUX DERRIÈRE LA POLÉMIQUE ANTI-EOLIENNE ?

Selon ses détracteurs, l'énergie éolienne, telle qu'elle est actuellement industrialisée, semble atteinte de toutes les tares : intermittence, déconcentration, non pilotabilité, utilisation de matériaux bien peu « green », recyclage compliqué, pratiques mafieuses des promoteurs éoliens vis-à-vis des riverains et des élus locaux, et surtout, forte dégradation du paysage. Par rapport à l'énergie nucléaire, présentée comme tout aussi décarbonée, mais très concentrée et produisant à flux continu, l'énergie éolienne devrait avoir du mal à soutenir la comparaison. D'autant que les éoliennes divisent les opinions au sein même des personnes qui se considèrent écologistes, entre les idéalistes, pour lesquels l'éolien est la technologie verte qui va sauver le monde, les opportunistes attirés par les profits liés à la croissance verte, les pragmatiques, qui encouragent les éoliennes faute de mieux, et les décroissants, qui ne voient dans les éoliennes que d'énormes machines industrielles ne servant ni le bien commun, ni l'environnement¹⁵⁰.

Pourtant, l'énergie éolienne est vivement encouragée par les différentes politiques énergétiques européennes et prend de plus en plus d'ampleur. Pour quelles raisons suscite-t-elle un tel engouement de la part de la sphère politique ? Au-delà d'une tentative de déstabilisation de notre souveraineté énergétique, répondrait-elle à d'autres intérêts au niveau national ?

5.1 Un impératif d'électoratisme ?

a) Une opinion publique défavorable au nucléaire

Le développement de l'énergie éolienne répond en premier lieu à une logique électoraliste, face à une opinion publique majoritairement pro-EnR et défavorable au nucléaire. Selon les résultats du sondage¹⁵¹ « Les Français et l'énergie » mené par BVA en plein débat public sur la PPE en mars 2018, seulement 42 % des Français se déclaraient favorables à l'énergie nucléaire, contre 90 % pour l'énergie solaire, 89 % pour l'hydroélectrique et 84 % pour l'énergie éolienne. Selon ce même sondage, si 30 % des Français refusent de s'installer près d'un parc éolien, ils sont 73 % à ne pas souhaiter vivre à proximité d'une centrale nucléaire. De fait, une majorité de Français déclare être favorable au développement des énergies solaire (81 %) et éolienne (53 %) dans les années à venir, plutôt qu'à celui de l'énergie nucléaire, que seuls 8 % des Français plébiscitent. À noter que les habitants de la région Grand Est, côtoyant plusieurs centrales nucléaires, en ont une meilleure opinion (56 % vs 42 % en moyenne).

Un nouveau sondage¹⁵² datant d'avril 2019, réalisé par BVA pour le compte d'Orano, confirme qu'ils ne sont que 5 % à envisager la future production électrique uniquement à partir du nucléaire. Plus d'un Français sur deux projette un mix électrique composé d'EnR et

¹⁵⁰ <https://reporterre.net/L-eolien-signe-la-fracture-entre-deux-visions-de-l-ecologie>

¹⁵¹ Observatoire Foncia, Les Français et l'énergie, 2018, <https://staticswww.bva-group.com/wp-content/uploads/2018/03/PRESSE-REGIONALE-FONCIA-Observatoire-de-la-vie-quotidienne-Mars-2018-L%C3%A9nergie.pdf>

¹⁵² Sondage BVA pour Orano, Les Français et le nucléaire, 2019, <https://www.bva-group.com/sondages/francais-nucleaire-sondage-bva-orano/>

de nucléaire, et 26 % croient à un futur 100 % Enr. Aux yeux des répondants, la production de déchets non recyclables (56 %) et le risque d'accident (52 %) sont les gros inconvénients de cette énergie nucléaire, alors que 45 % des Français s'inquiètent du vieillissement du parc historique. Quant à l'absence de mines d'uranium en France, 16 % citent cet écueil comme problématique. Parmi les critères importants pour les Français concernant l'électricité, son prix raisonnable arrive en tête avec 63 % de taux de réponse. Or, 68 % des Français estiment que le nucléaire coûte cher à produire. Ainsi, moins d'un Français sur 3 pense que l'électricité coûte moins cher en France qu'en Europe. D'un point de vue environnemental, 69 % du corpus pense que le nucléaire contribue à la production de GES et au dérèglement climatique. Ils sont plus de 60 % à penser que les EnR sont plus vertueuses dans ce domaine. Seulement six Français sur dix savent que le combustible nucléaire peut être recyclé.

Au bilan, le seul atout de l'énergie nucléaire aux yeux des Français est qu'elle permet de garantir l'indépendance énergétique de la France pour 46 % du corpus.

b) Une action efficace du lobby antinucléaire

Cette opinion défavorable est le résultat du lobbying antinucléaire français qui perdure depuis les années 60. Alors que cette opposition au nucléaire n'était au départ qu'idéologique, ne reposant sur aucune technologie alternative, l'essor de l'énergie éolienne industrielle, et dans une moindre mesure de l'énergie photovoltaïque, donnent enfin au mouvement son étendard. Le Réseau Sortir du Nucléaire regroupe près de 800 associations, hétérogènes dans leur composition et leurs moyens d'action, mais qui convergent toutes vers la promotion de ces EnR et du scénario de l'association négaWatt prônant 100 % d'EnR à l'horizon 2050. L'efficacité de leur méthode d'influence¹⁵³ en faveur de ces nouvelles énergies n'est plus à démontrer, fondée sur la désinformation et les actions « coup de poing » médiatiques, parfois violentes, contre le nucléaire. Leurs cibles sont les entreprises du secteur, EDF en tête, et les dirigeants politiques pronucléaires. Cependant, le cœur de leur stratégie repose sur le retournement de l'opinion publique en faveur des EnR. Leurs derniers chevaux de bataille en date concernent le parc historique vieillissant, qui fait l'objet de la campagne « Le nucléaire tue l'avenir, arrêtons-le ! », ainsi que l'EPR de Flamanville, visé par une pétition¹⁵⁴.

c) Un argument de campagne dans la course aux voix

Devant ce plébiscite en faveur des énergies renouvelables, les élus encouragent leur développement, ne sachant quoi faire par ailleurs pour endiguer les effets du réchauffement climatique. Cette démarche participe d'une logique électoraliste, afin de s'assurer le soutien des partis écologistes, qui prennent de plus en plus d'importance dans le paysage politique français. Cette même logique avait déjà incité Lionel Jospin, Premier ministre de 1997 à 2002, à abandonner le projet de surgénérateur Superphénix en échange des voix des Verts.

Depuis 2002, le raccourcissement de la durée du mandat politique, passé d'un septennat à un quinquennat, ne facilite pas la réflexion à long terme sur la politique énergétique française. Ne sachant comment gérer la complexité du sujet, le gouvernement actuel, dirigé par le Premier ministre Edouard Philippe, ancien lobbyiste du groupe Areva de 2007 à 2010, tergiverse. En effet, d'un côté la sortie du nucléaire devient un argument électoral, pour

¹⁵³ http://ecolo.org/documents/documents_in_french/FaceCacheeLobbyVert.Mlung.htm

¹⁵⁴ <https://www.sortirdunucleaire.org/petition-non-aux-nouvelles-installations>

s'assurer les voix des partis écologistes. De l'autre, malgré un parc historique vieillissant, l'énergie nucléaire reste l'énergie de base du mix électrique de la France, qui compte le plus important parc nucléaire du monde au regard de sa population. En plus de représenter la troisième filière industrielle française, il s'agit, de surcroît, d'une énergie décarbonée sans laquelle il serait difficile de tenir les objectifs de la transition énergétique. Ainsi, initialement prévue pour 2025, la réduction à 50 % de la part du nucléaire dans le mix électrique français, au lieu des 71 % à l'heure actuelle, a été reportée par le gouvernement à 2035. En effet, la promesse émise par François Hollande, puis reprise par Emmanuel Macron, avait été jugée intenable par Nicolas Hulot¹⁵⁵, ministre de l'Écologie de mai 2017 à août 2018, faute de préparation suffisante.

À cet horizon 2035, 14 des 58¹⁵⁶ réacteurs du pays devront être arrêtés. EDF vient de publier la liste des 14 réacteurs¹⁵⁷ concernés par un arrêt, sous réserve que l'approvisionnement en électricité soit assuré par ailleurs. Les deux premiers sont les réacteurs de la centrale de Fessenheim, dont l'un a déjà été arrêté le 21 février dernier, après 43 ans de bons et loyaux services. L'arrêt du second réacteur de Fessenheim est programmé pour le 30 juin 2020. Pour les autres réacteurs, il faudra attendre 2025 au plus tôt. Les 44 réacteurs restants, dont la majorité a été mise en service dans les années 1980 avec une durée de vie prévue de 40 ans, devraient être concernés par le « grand carénage », lancé par EDF pour permettre au parc actuel d'assurer la production nucléaire d'électricité jusque dans les années 2040, le temps de pouvoir déployer les éventuels successeurs de nouvelle génération.

Afin d'éviter un éventuel « effet-falaise »¹⁵⁸ induit par l'arrêt simultané de trop de réacteurs, la dernière PPE prévoit de doubler les capacités de production des énergies renouvelables et de récupération d'ici 2028 par rapport à 2017.

Le gouvernement français actuel, pris en étau entre la politique européenne en matière de transition écologique, l'opinion de son électorat, la libéralisation du marché intérieur européen de l'énergie, et le défi du vieillissement du parc nucléaire historique hérité des précédents gouvernements, se retrouve à devoir défendre une stratégie énergétique du « et en même temps » nucléaire et EnR, se raccrochant aux vertus de la croissance verte et du développement durable pour espérer que cela fonctionnera, alors que le système énergétique se situe plutôt à un stade du « ni l'un ni l'autre ».

5.2 Une chimère pour entretenir l'illusion d'un avenir radieux ?

a) Une augmentation de la consommation d'électricité annoncée

Afin de justifier cette logique du « et en même temps », qui ménage nucléaire et EnR, la politique développée en France semble être un encouragement massif de l'électrification des usages, sous couvert d'impératif de neutralité carbone à l'horizon 2050. En effet, si la

¹⁵⁵ https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/11/08/la-baisse-du-nucleaire-a-50-en-2025-une-promise-jamais-suivie-de-moyens_5212107_4355770.html

¹⁵⁶ En comptant les deux réacteurs de Fessenheim

¹⁵⁷ <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/nucleaire-edf-donne-la-liste-des-centrales-qui-vont-arreter-des-reacteurs-1164755>

¹⁵⁸ https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/11/21/l-effet-falaise-ou-pourquoi-il-faut-preparer-des-fermetures-de-centrales_5386293_3234.html

consommation d'électricité augmente, les investissements réalisés à la fois dans les énergies renouvelables et dans les EPR apparaîtront nécessaires. Véhicules électriques, objets connectés, smart cities, réseaux intelligents... EDF s'attend également à une hausse de la consommation d'électricité pour les années à venir. La répartition de la production d'énergie, entre 50 % de nucléaire et 50 % d'EnR, ne serait alors pas un problème pour l'énergéticien, puisque la production d'électricité nucléaire serait aussi importante qu'aujourd'hui. Les EnR combleraient en revanche le surplus de demandes et se substitueraient aux 7,9 % d'électricité produite à partir d'énergies fossiles.

Malgré les efforts de maîtrise de la demande énergétique globale, cette conviction est également partagée par l'Union Européenne qui prévoit une croissance de la demande d'électricité de l'ordre de 1 à 2 % par an dans les années à venir, ce qui, selon la PPE, pourrait conduire la France à tripler ses exportations d'électricité.

Or, au niveau mondial, la question des éoliennes rejoint celle des besoins énergétiques d'une population de bientôt 9 à 10 milliards de terriens qu'il faut concilier avec la préservation du climat. Plus un pays développerait son économie, plus il consommerait d'énergie, en grande partie fossile, émettant par là-même de plus en plus de gaz à effet de serre. Les courbes de consommation d'énergie et de croissance du PIB à travers l'histoire semblent en effet parfaitement corrélées¹⁵⁹, la croissance reposant sur l'accumulation d'objets et de services produits à partir d'énergie. Une diminution de la consommation énergétique brandirait donc le spectre d'une récession, qu'il faudrait éviter à tout prix, d'où l'émergence du concept de croissance verte, qui entretiendrait l'illusion d'un bien-être conciliant surconsommation et transition écologique.

b) Le mythe de la croissance verte

Si la réalité du changement climatique fait aujourd'hui l'objet d'un très large consensus scientifique, la façon d'y faire face, en revanche, fait émerger des divergences profondes entre les optimistes, s'accrochant à l'espoir qu'une croissance verte fondée sur l'innovation et le progrès technique est possible, et les pessimistes, prônant la décroissance. Les éoliennes cristallisent ce clivage entre leurs promoteurs, qui voient en elles la technologie qui va sauver la planète, et leurs détracteurs, pour lesquelles elles ne seraient qu'un gadget de plus qui nous bercerait dans l'illusion d'une croissance de consommation énergétique toujours plus importante. Certains idéalistes, dont la priorité absolue est de sortir du nucléaire, font ainsi preuve d'un certain déni vis-à-vis des inconvénients inhérents aux éoliennes, qu'ils parent de toutes les vertus. En effet, elles sont la seule alternative connue à ce jour, aussi imparfaites soient-elles, au nucléaire civil. Elles symboliseraient ainsi une vision utopiste du monde de demain, propre et durable, fondé sur une croissance verte.

Le concept de « croissance verte »¹⁶⁰ a émergé progressivement dans les années 1990-2000 avant d'être officialisé en 2009 par l'OCDE dans le cadre de la préparation de la COP15 de Copenhague. Selon le rapport de l'OCDE « *Vers une croissance verte : suivre les progrès* » datant de 2012, la croissance verte consiste à « *favoriser la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et les services environnementaux sur lesquels repose notre bien-être. Pour ce*

¹⁵⁹ <https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/lenergie-de-quoi-sagit-il-exactement/>

¹⁶⁰ Rapport sur la croissance verte, CEDD, 2009, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/CEDD%20-%20Croissance%20verte.pdf>

faire, elle doit catalyser l'investissement et l'innovation qui étayeront une croissance durable et créeront de nouvelles opportunités économiques. » Ce concept relèverait d'une utopie politique selon laquelle il s'agit de maintenir le développement économique à son niveau actuel, en s'assurant du « verdissement » de la croissance tout en exploitant de nouvelles possibilités de profit créées par les considérations environnementales. Jean-Marc Jancovici, consultant en énergie et pronucléaire, résume le concept en peu de mots : « *cela revient à décréter que l'on ne change pas de modèle économique et que la technologie va nous sauver* »¹⁶¹. Ce concept rejoint celui de technosolutionnisme, théorisé par Evgeny Morozov¹⁶². Il s'agit de la croyance selon laquelle le progrès technique – et en particulier internet et le numérique – va réparer le désastre qu'il a lui-même produit. Grâce aux nouvelles technologies et à l'innovation, tous les problèmes environnementaux seraient ainsi appelés à disparaître. Cependant, cette idée n'est pas récente. Dans la période de l'après-guerre, la sphère politique, qu'elle soit gaulliste ou communiste, est déjà intimement convaincue que le progrès scientifique et technique va permettre la reconstruction et la modernisation de la France. Le nucléaire, en parallèle de l'électronique, des télécommunications et de l'aéronautique, doit ainsi œuvrer à l'indépendance économique nationale et redonner à la France sa grandeur technologique et militaire.

Pour beaucoup d'économistes, tels que Gaël Giraud¹⁶³, du CNRS, ce concept de croissance verte serait un mythe, car notre modèle économique actuel, fondé sur la croissance du PIB, est incompatible avec la réduction des énergies fossiles. En raison du mode de vie occidental, largement fondé sur la croissance et la consommation de biens industriels, 20 % de la population mondiale accapare 80 % des ressources de la planète. Ainsi, plus de ressources non renouvelables, comme les énergies fossiles ou les métaux, auront été extraites de la terre en une génération que pendant toute la durée de l'existence de l'humanité. Or, tous ces biens technologiques censés sauver la planète – éoliennes, panneaux solaires, voitures électriques, smart grids ou objets connectés divers et variés – participent de ce pillage et semblent inefficaces pour diminuer les émissions de GES.

Dans le cas de l'énergie, force est de constater que la science n'a pas trouvé la solution qui nous permettrait de continuer à vivre selon le même modèle qu'aujourd'hui sans polluer la planète. Comme le rappelle Jean-Marc Jancovici dans une tribune de l'Express du 1^{er} mai 2020, « *Si les moulins à vent et à eau, le bois et le rayonnement solaire avaient été suffisants pour permettre le développement industriel que nous avons connu, et à la suite ce monde urbain, avec peu de travail et pléthore d'objets à consommer, plein de temps libre et le déplacement facile, comment expliquer que ce monde ne soit pas survenu avant l'avènement du charbon, puis du pétrole et du gaz, puisque les prédécesseurs étaient connus depuis des millénaires ?* ».

D'aucuns lui rétorqueront que, malgré tout, les technologies entourant les EnR ont beaucoup évolué depuis l'ère préindustrielle. Cependant, elles ne semblent pas avoir suffisamment évolué pour parer toutes les critiques. Ainsi, l'intermittence et le stockage attendent toujours des innovations techniques qui conduiraient à surmonter ces problèmes. Quant à l'énergie nucléaire, elle se heurte également à des obstacles techniques pour ses

¹⁶¹ Citation entendue dans diverses conférences de l'auteur

¹⁶² Evgeny Morozov, Pour tout résoudre, cliquez, FYP Editions, 2014

¹⁶³ <http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/pour-leconomiste-gael-giraud-la-croissance-verte-est-un-nouveau-mythe>

centrales de 3^e et 4^e génération. « *On va mettre 100 milliards d'euros pour prolonger les centrales, c'est complètement disproportionné : si on investissait ne serait-ce qu'une petite part de la R&D consacrée au nucléaire dans le renouvelable, on avancerait énormément sur le développement de solutions de stockage et sur les réseaux intelligents qui permettent de distribuer l'énergie en fonction des besoins* », plaide François Dassa¹⁶⁴, Directeur de la mission prospective et des relations internationales chez EDF. Le progrès technologique du secteur ne dépendrait donc que de volontés politiques d'investissement de Recherche & Développement (R&D).

En ce moment, c'est la géo-ingénierie qui a le vent en poupe¹⁶⁵. Cette « nouvelle » science, en phase expérimentale depuis la fin du XIX^e siècle, tenterait de manipuler le climat afin d'en inverser le réchauffement, à coup d'aspirateurs à CO₂, d'injection de poussière dans la stratosphère ou de formules chimiques pour modifier la composition de l'océan. Ces « technologies à émission négative » seraient très prises au sérieux par le GIEC, qui envisage d'en faire état dans son prochain rapport, programmé pour 2021-2022. Une nouvelle fuite en avant ?

c) La décroissance, ou la fin du PIB

Prenons maintenant le parti opposé, à savoir celui des décroissants. La décroissance est un concept économique, politique et social, qui remet en cause l'idée selon laquelle l'augmentation des richesses conduirait au bien-être social. Elle considère que la croissance économique est un des principaux facteurs de destruction de l'environnement. Cette théorie vise donc à réduire la production de biens et de services dans l'objectif de préserver l'environnement. Ce concept, bien que déjà théorisé par certains penseurs du XIX^e siècle, comme Léon Tolstoï (1828-1910), prend surtout de l'ampleur dans les années 70 après la sortie du rapport Meadows¹⁶⁶. L'économiste Nicholas Georgescu-Roegen dans son essai « *The Entropy Law and the Economic Process* » s'appuie sur les limites de la biosphère pour appeler à la transformation des modes de production et de consommation, d'où la formule consacrée « *La croissance ne peut être infinie dans un monde fini* » qui caractérise ce courant. Aujourd'hui, les économistes de la décroissance, comme Serge Latouche, réfutent également la théorie du « découplage » selon laquelle, au-delà d'un certain niveau de richesse, le progrès technique permettrait de réduire les pressions exercées sur l'environnement¹⁶⁷. Ce concept de décroissance est donc incompatible avec ceux de développement durable ou de croissance verte, qui visent à concilier croissance économique et respect de l'environnement.

Selon Eloi Laurent¹⁶⁸, autre économiste décroissant, il serait urgent de changer de système afin de ne plus prendre en compte uniquement le PIB comme indicateur économique, mais de fonder les politiques sur des indicateurs alternatifs d'empreinte écologique, de coopération et de bien-être humain qui donneraient lieu à un Bonheur National Brut ou un Indice de Développement Humain, déjà mis en place à l'ONU ou au Bhoutan. Stéphane Chatelin, directeur de l'association négaWatt, rappelle que « *lorsque l'on oublie d'éteindre la*

¹⁶⁴ <https://usbeketrica.com/article/france-nucleaire-2050>

¹⁶⁵ We Demain n° 29, mars 2020 – La science peut-elle sauver le climat ?

¹⁶⁶ <https://www.economie-magazine.com/dossier-34-decroissance.html>

¹⁶⁷ <http://blogue.economistesquebecois.com/2018/09/24/les-economistes-et-la-decroissance/>

¹⁶⁸ https://www.lemonde.fr/idees/article/2019/10/23/eloi-laurent-il-faut-deloger-la-croissance-pour-la-desacraliser-et-lui-substituer-des-indicateurs-de-bien-etre-humain_6016533_3232.html

lumière en sortant d'une pièce, ou lorsqu'une marée noire survient, cela fait augmenter le PIB. Cet indicateur n'est pas pertinent. Nous regardons plutôt les indicateurs tels que les créations d'emploi ou le revenu disponible des ménages après paiement des factures. Cela nous semble plus intéressant. »¹⁶⁹ Une autre forme d'utopie ? Pourtant les études d'impact sur la croissance réalisées sur le scénario négaWatt par différents organismes ministériels démontrent qu'il a un impact positif sur l'emploi et la richesse d'un pays. Ce scénario prône pourtant 100 % d'EnR à l'horizon 2050, atteignables avec des EnR réparties sur le territoire, et développées en concertation avec les citoyens. Une autre façon d'envisager les EnR, à l'instar du modèle danois qui a réussi à découpler croissance et consommation d'énergie.

Selon l'AIE, l'intensité énergétique mondiale, à savoir le rapport entre la consommation mondiale d'énergie primaire et le PIB, a baissé de 1,2 % en 2018, bien loin des 3 % de baisse annuelle jugés nécessaires par l'agence dans le cadre de son scénario *Sustainable Development*.

Toujours est-il que la décroissance soutenable ne consiste pas en la dégradation drastique de nos modes de vie, à coup de toilettes sèches et de douches à récupérateur d'eau de pluie archaïques... à moins que nos gouvernants ne poursuivent leur politique électorale et leur défaut d'investissement judicieux sur la question énergétique. Dans ce cas, le risque d'une crise entropique¹⁷⁰ généralisée serait bien réel. La décroissance ne serait alors plus simplement soutenable, mais subie, privant 80 % des habitants de la planète de conditions de vie décentes.

Dans son ouvrage « *L'Âge des Low Techs* » paru en 2014, Philippe Bihouix défend la thèse d'une sortie de crise environnementale en s'orientant vers une société essentiellement basée sur des basses technologies, plus économes en ressources et gérables localement. Il prône l'avènement de l'âge des Low tech, le temps d'une civilisation techniquement soutenable. Une piste d'entre-deux à étudier sérieusement.

5.3 Un écolo-business juteux ?

a) Un business douteux

Cette volonté politique de développement des EnR a abouti à un mécanisme de soutien encourageant avant tout une logique de profit. À la fin des années 2000, l'énergie éolienne connaît un développement exceptionnel – entre 20 % et 30 % de croissance annuelle – auxquels peu de secteurs économiques peuvent prétendre. En effet, la garantie de rachat sur 15 ans, par EDF, de l'électricité éolienne produite, à un prix relativement élevé, apparaît comme une manne financière qui attire les investisseurs privés et ouvre la voie à tous les excès. Démarchage éhonté et arnaque de particuliers, prises illégales d'intérêt et corruption d'élus locaux, saccage de terres agricoles ou d'environnements naturels semblent s'être répandus au lancement de cette industrie. Le système de soutien étant identique à l'échelle européenne, cette filière aurait même attiré la mafia sicilienne¹⁷¹.

¹⁶⁹ Entretien du 26 mars 2020

¹⁷⁰ Le chaos énergétique entraînerait l'effondrement de nos civilisations

¹⁷¹ https://www.lemonde.fr/europe/article/2009/11/12/eoliennes-le-nouveau-business-plan-de-la-cosa-nostra_1266486_3214.html

Or, le développement à tout va, avec pour seule motivation le profit porte gravement préjudice à cette énergie. La conséquence est que le paysage des constructeurs s'est modifié. Beaucoup de pionniers ont disparu, d'autres ont su tirer avantage de ce soutien national pour se développer. D'un montant évalué à quatre milliards d'euros par an, ce système est qualifié d'escroquerie par les opposants aux énergies renouvelables. « *L'éolien est un écolo business. Si on veut le développer, il faut que ce soit un business avec des rentabilités garanties sinon il n'y aura aucun industriel dans le secteur de l'éolien. Ces investisseurs ne sont pas nécessairement des militants écologistes* » se justifiera plus tard Jean-Louis Bal, Président du Syndicat des Énergies Renouvelables depuis 2011¹⁷².

Ce mécanisme de soutien apparaît d'autant plus injuste aux yeux des partisans du nucléaire que cette forme d'énergie ne bénéficie pas du même dispositif. EDF serait même pénalisé par la mise en place de l'Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique (ARENH), en 2010, grâce auquel tous les fournisseurs d'électricité peuvent racheter à EDF de l'électricité nucléaire à un tarif fixé par les pouvoirs publics. Si aucun mécanisme de soutien du même ordre que celui des EnR n'est mis en place lors du lancement des EPR, la facture des ménages s'en retrouverait très fortement impactée. Le soutien de l'État sera donc tout autant nécessaire et le coût en sera beaucoup plus important pour les EPR que pour les EnR.

Toujours est-il que grâce à ces importants moyens financiers, le secteur fait pour l'instant office de poule aux œufs d'or pour les investisseurs. Le mécanisme de soutien est néanmoins en train d'évoluer vers un système d'appels d'offres classiques, les pouvoirs publics considérant que la filière est maintenant mature et rentable.

b) Une industrialisation dans l'intérêt des grands groupes

Cette logique de profit n'a pas été appliquée que par des investisseurs. Aux yeux des géants du secteur de l'énergie française, l'émergence des EnR menace leurs intérêts économiques et financiers. Afin de s'assurer que ces concurrentes ne vont pas leur faire trop d'ombre, ils préfèrent investir dans ces nouvelles formes d'énergie afin de garder la mainmise sur cette technologie. C'est ainsi qu'Areva racheta la société Multibrid en 2007 pour fonder Areva Wind, spécialisé dans l'éolien offshore, que Total créa la filiale Total Quadran à la suite de la fusion de JMB Énergie et d'Aérowatt, ou qu'EDF est aujourd'hui un leader des installations de chantiers éoliens.

Propriété de l'État à hauteur de près de 85 %, EDF détient le monopole nucléaire en France. Il se retrouve ainsi juge et partie en développant en parallèle les énergies renouvelables. Grâce au système de soutien de l'État, EDF est en effet le premier bénéficiaire des retombées financières des EnR en France. La question se pose alors de savoir si EDF, Total, Areva ou Veolia cherchent réellement à développer les EnR, ou seulement à profiter de leurs retombées financières. Les choix technologiques ou d'organisation de la filière entourant l'énergie éolienne ne semblent pas faits de façon à répondre aux besoins de la transition énergétique, mais bien à favoriser ces grands groupes et leurs objectifs financiers. Cette transition « sous contrôle » s'accompagnerait inévitablement de fortes hausses de prix pour les usagers¹⁷³.

c) Un vecteur de greenwashing pour les entreprises polluantes ?

¹⁷² <https://www.contrepoints.org/2015/07/05/209752-eolien-les-dessous-nauseabonds-des-filles-deole>

¹⁷³ https://france.attac.org/IMG/pdf/note_nucle_aire-finance-print.pdf

Attirés par ce potentiel de croissance, les grands groupes de l'énergie se sont aussi positionnés sur le marché des énergies renouvelables pour diversifier leurs sources de production, mais surtout se donner une image plus « verte ». Les éoliennes pourraient alors représenter un vecteur de greenwashing ou d'écoblanchiment, un moyen de se donner une image écoresponsable auprès des consommateurs. Dans l'imaginaire collectif français, l'éolienne est le symbole de la transition écologique. D'un point de vue sémiologique, l'aérogénérateur joue pleinement sur le registre de la nature et de la pureté, depuis sa forme de fleur jusqu'au champ sémantique employé pour désigner tout ce qui touche à l'éolien : ferme, parcs, champs, bouquet énergétique. De surcroît, quoi de plus pur que le vent, ressource naturelle, inépuisable et gratuite ? De quoi poser les bases d'une excellente stratégie marketing pour convaincre une bonne partie des consommateurs.

Cette logique de greenwashing s'étend aux politiques désireux de démontrer leur bonne volonté en matière de politique environnementale à leurs administrés. Ils vont promouvoir les éoliennes parce qu'elles se voient de loin, symbolisant leur action en faveur de la transition écologique auprès de leurs électeurs. Le récent Pacte Vert pour l'Europe est particulièrement accusé de sombrer dans cette tendance¹⁷⁴.

d) Une nouvelle manne financière pour les bobo-écologistes

Le concept de développement durable, selon lequel la croissance doit désormais être verte, a entraîné dans son sillage des écologistes opportunistes pour lesquels les éoliennes apparaissent comme une manne financière compatible avec la sortie du nucléaire. Elles offrent la possibilité de reconverter des anciens bassins industriels et de transformer en profondeur le mode de production d'électricité centralisé français. Ces écologistes ont été les pionniers de ces énergies renouvelables en créant les premières entreprises du secteur. C'est le cas des frères jumeaux Jean-Michel et Philippe Germa, dont l'un créa la Compagnie du Vent en 1989 et l'autre fut directeur général de l'ONG WWF France. Les « pionniers » d'aujourd'hui sont à la tête de bureaux d'étude ou de start-up innovantes de la sphère GreenTech. Que l'efficacité énergétique des éoliennes ne soit pas au rendez-vous leur importe peu, du moment que le système financier qui les encadre leur rapporte.

En pratique, nombre d'actions visant soi-disant la réduction des émissions de GES apportent peu de résultats, mais elles servent d'autres intérêts, bien éloignés de la sauvegarde de la planète.

5.4 Un faire-valoir pour redorer le blason du nucléaire ?

a) Une énergie comportant des risques

Nous avons vu que l'énergie nucléaire souffre d'un déficit d'image auprès de l'opinion publique française, qui s'est beaucoup aggravé depuis l'accident de la centrale de Fukushima le 11 mars 2011. En effet, chaque incident nucléaire inquiète la population quant aux dangers que cette forme d'énergie lui fait encourir. Très mineures en théorie, les possibilités d'accidents sont très souvent corrélées à des erreurs humaines ou à des situations considérées comme trop peu probables, qui rappellent que le risque zéro n'existe pas. Le

¹⁷⁴ <https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/le-pacte-vert-europeen-entre-green-deal-et-greenwashing>

lien entre nucléaire civil et nucléaire militaire ressurgit alors comme un spectre inquiétant. D'autant que certaines ONG, comme Greenpeace, ont remis en cause le niveau de sécurité des centrales françaises en cas d'attaque terroriste.

Aujourd'hui, la question du vieillissement du parc nucléaire historique fait à nouveau planer le doute sur la sécurité de ces centrales construites dans les années 80. Or, leur prolongement semble incontournable dans la mesure où l'EPR de Flamanville n'est pas encore prêt pour une mise en service, et où les EnR ne sont pas suffisamment matures pour prendre le relais. Ainsi, EDF a entrepris, en 2014, un vaste chantier de rénovation, le Grand Carénage, qui doit se poursuivre jusqu'en 2025, pour étendre la durée de vie des réacteurs de 20 ans et augmenter leur niveau de sécurité en intégrant le retour d'expérience de l'accident de Fukushima.

b) Un caractère éco friendly discutable

Le bilan écologique de l'énergie nucléaire, présentée comme une énergie décarbonée par ses défenseurs, est nettement grevé par l'extraction de l'uranium très polluante ou la gestion des déchets, relevant les émissions de GES de 50 à 150 gr CO₂/kWh au lieu des 6 g à 12 g/MWh annoncés. Le transport de l'uranium, qu'il faut acheminer depuis le Niger, le Kazakhstan, voire l'Australie, jusqu'aux centrales françaises, est émetteur de GES, tout comme son extraction minière¹⁷⁵, qui couvre 90 % des besoins. Ce processus, bien qu'ayant progressé, pollue toujours les eaux et rejette du radon, un gaz radioactif. Une solution à ce problème pourrait être le recyclage du combustible. Selon Orano, 96 % du combustible utilisé – composé de 94 % d'uranium 238, 1 % d'uranium 235, 1 % plutonium et de près de 4 % de déchets non recyclables – est d'ores et déjà recyclé en France sous forme de combustible MOX (« Mélange d'Oxydes » ou « Mixed Oxides »), une matière recyclée qui contribue à 10 % de la production d'électricité nucléaire française. Recycler les matières nucléaires permettrait d'économiser près de 20 % d'uranium naturel pour une même quantité d'électricité produite. Comparativement, les éoliennes n'utilisent qu'une ressource naturelle, le vent.

De plus, la France importe chaque année environ 8 000 tonnes d'uranium naturel pour alimenter son parc nucléaire. Or, l'approvisionnement en uranium représente un coût politique. Par exemple, le Niger est l'une des principales sources d'approvisionnement en uranium du parc français. Or, selon Emmanuel Grégoire, directeur de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (IRD)¹⁷⁶ déclarait en 2013 : « *S'il n'y a pas de lien direct entre l'intervention de la France au Mali et ses mines d'uranium au Niger, il est clair que la France n'a pas intérêt à ce que le conflit s'étende à ce pays* ». Selon lui, son point de vue s'avérait « prudent », d'autres experts n'hésitant pas à faire un lien direct entre les interventions militaires de la France dans cette région et la protection des mines d'uranium. Aujourd'hui, ce pays représente encore 32 % des approvisionnements, mais les deux mines nigériennes exploitées par Orano sont en fin de vie. La France diversifie ses importations auprès du Kazakhstan, du Canada et de l'Australie, des pays moins risqués d'un point de vue géopolitique. L'équilibre demeure néanmoins précaire.

¹⁷⁵ L'extraction d'uranium aujourd'hui : perceptions et réalités, OCDE, 2014, <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2014/7064-mehium-es-fr.pdf>

¹⁷⁶ https://www.lemonde.fr/afrique/article/2013/01/30/mines-d-uranium-la-france-n-a-pas-interet-a-ce-que-le-conflit-malien-s-etende-au-niger_1825026_3212.html

D'après l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), plus de 1 540 000 m³ de déchets radioactifs s'accumulaient déjà sur le territoire français en 2016¹⁷⁷, dont 59 % directement issus des centrales et des activités de l'industrie électronucléaire. Classés selon leur dangerosité et leur durée de vie, ces déchets font l'objet de traitements différents selon qu'ils sont de faible, moyenne ou haute activité et à vie courte ou longue. Les déchets de moyenne et haute activité à vie longue (MA/VL et HA/VL), les plus dangereux, représentent 3,2 % des déchets nucléaires, soit environ 200 tonnes¹⁷⁸. Du fait de leur niveau de radioactivité et de leur durée de vie, ils font l'objet d'un projet de stockage profond spécifique, le Cigéo (Centre Industriel de Stockage Géologique) implanté à Bure, dans la Meuse, dont le chantier devrait commencer en 2022. En attendant, ils sont entreposés notamment à l'usine de retraitement AREVA de La Hague (Manche). Le projet Cigéo pourrait atteindre des coûts avoisinant les 35 milliards d'euros. Ainsi, le projet ne cesse de prendre du retard.

Changer de génération de nucléaire au profit des réacteurs à neutrons rapide de 4^e génération pourrait résoudre en grande partie ces problèmes. Ces nouveaux réacteurs permettraient notamment d'éviter l'étape de l'enrichissement de l'uranium, ce qui en démultiplierait l'économie. Ils donneraient alors à l'industrie nucléaire la perspective de disposer de réserves quasiment illimitées. À noter que, si le prototype de surgénérateur ASTRID développé par le CEA a été abandonné fin août 2019, car jugé trop coûteux, un autre programme international, ITER, implanté sur le territoire français, dans le département des Bouches-du-Rhône, tente de reproduire le phénomène de fusion solaire, technologie qui permettrait de supprimer les déchets et de réduire les risques d'accident. Néanmoins ce projet possède également ses détracteurs, qui se sont attachés à démontrer son caractère non réalisable et dangereux¹⁷⁹.

c) Une énergie nucléaire de plus en plus coûteuse

Selon la SFEN, la production d'électricité d'origine nucléaire contribue au pouvoir d'achat des ménages français, leur donnant accès à un prix du kilowattheure moyen¹⁸⁰ de 0,176 5 € TTC contre 0,215 9 € au sein de l'Union européenne pour les particuliers en 2019. Or, cette compétitivité, liée à l'amortissement du parc nucléaire historique, risque de ne pas durer. En effet, l'industrie nucléaire s'apprête à s'engager dans des coûts faramineux de remise à niveau ou de remplacement des centrales existantes.

La troisième génération de nucléaire, les EPR permettraient certes de réduire le volume de déchets radioactifs et de préserver les 125 000 emplois directs que la filière a créés, mais le chantier pilote de Flamanville (Manche) soulève d'importants problèmes techniques et financiers : la date de livraison a été repoussée de dix ans, de 2012 à 2022, en raison de multiples défauts de fabrication qui ont fait exploser la facture à plus de 11 milliards d'euros au lieu des 3,5 milliards initialement prévus. Nous avons vu que le LCOE du nouveau nucléaire s'élèverait alors à 154 €/MWh bien au-dessus des 49,50 €/MWh actuels. Il ne

¹⁷⁷ <https://www.andra.fr/dechets-radioactifs-les-chiffres-cles-de-linventaire-2018>

¹⁷⁸ <http://www.andra.fr/pages/fr/menu1/les-solutions-de-gestion/etudier-une-solution-de-gestion-pour-les-dechets-favl-6715.html>

¹⁷⁹ Isabelle Bourboulon, Soleil trompeur, les petits matins, 2020, <https://reporterre.net/Soleil-trompeur-Iter-ou-le-fantasme-de-l-energie-illimitee-rencontre-a-Paris>

¹⁸⁰ Eurostat, Electricity Prices Statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics

serait dans ces conditions plus du tout compétitif face à des énergies renouvelables dont le prix ne cesse de baisser.

En outre, le chantier du Grand Carénage, lancé pour rénover le parc existant de façon à prolonger son exploitation et à augmenter sa sécurité, évalué entre 45 et 50 milliards d'euros par Jean-Bernard Levy, le PDG d'EDF, est le plus important jamais lancé depuis la construction du parc nucléaire. Dans un rapport public¹⁸¹ sur la maintenance des centrales nucléaires, publié en février 2016, la Cour des comptes estime néanmoins qu'« *un programme global de près de 100 milliards d'euros d'ici à 2030, est nécessaire pour maintenir le parc actuel en état de répondre à la consommation électrique et aux normes de sûreté nucléaire* ». Dans un précédent rapport¹⁸², publié en janvier 2012, la Cour des Comptes avait déjà livré les chiffres du coût de l'énergie atomique en France : 121 milliards ont été dépensés depuis 1945 dans la construction des installations nécessaires à la production d'électricité nucléaire. Ce montant comprend notamment les 96 milliards qu'ont coûtés les 58 réacteurs nucléaires français. Le Grand Carénage représenterait donc une somme équivalente, pour 20 ans d'exploitation supplémentaire seulement. Enfin, concernant les futurs coûts d'entretien des centrales, de démantèlement ou de gestion des déchets nucléaires, ils atteindraient plusieurs dizaines de milliards d'euros supplémentaires, ce que dévoile un troisième rapport¹⁸³ de février 2020 de la Cour des Comptes.

EDF se retrouve donc fortement endetté, à hauteur de 41,1 milliards d'euros comptabilisés¹⁸⁴ fin 2019. En termes de compétitivité, l'électricité nucléaire risque de perdre la bataille face à des énergies renouvelables de plus en plus compétitives. Selon l'ADEME, le prix du MWh éolien est en effet passé à 61 € pour l'éolien terrestre et va continuer à baisser.

Comme le mentionnait en 2009 l'ancien PDG d'EDF, Henri Proglio, les prix de l'électricité française sont trop bas par rapport aux coûts réels de la production. Cette problématique est récurrente et avait été relevée avant l'émergence des énergies renouvelables. La situation est similaire aux États-Unis. Devant la percée du gaz de schiste et de l'éolien, de nombreuses centrales nucléaires et à charbon ont été incapables de s'aligner sur la baisse des tarifs. Washington a refusé de subventionner les centrales qui ont dû être fermées.

Enfin, les crises successives et les échecs financiers de la filière sont systématiquement épongées par l'État au détriment du contribuable. En 2017, l'État français a ainsi injecté 7,5 milliards d'euros dans EDF et Areva, ce qui a fait gonfler la facture d'électricité des ménages.

d) Les éoliennes et leurs imperfections, une aubaine pour le lobby nucléaire

¹⁸¹ Rapport de la Cour des Comptes, La maintenance des centrales nucléaires : une politique remise à niveau, des incertitudes à lever, février 2016, <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/04-maintenance-centrales-nucleaires-RPA2016-Tome-1.pdf>

¹⁸² Rapport de la Cour des Comptes, les coûts de la filière électronucléaire, janvier 2012, <https://www.ccomptes.fr/fr/documents/1134>

¹⁸³ Rapport de la Cour des Comptes, l'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires, février 2020, https://www.ccomptes.fr/system/files/2020-03/20200304-rapport-arret-demantelement-installations-nucleaires-2_0.pdf

¹⁸⁴ Communiqué de presse, Résultats annuels 2019, EDF, <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/informations-reglementees/resultats-annuels/2019/pdf/20200214-resultats-annuels-2019-cp-fr.pdf>

Face à ces écueils, qui expliquent aussi en grande partie le succès des opérations d'influence des antinucléaires et le défaut d'acceptation de cette énergie par l'opinion publique française, le lobby nucléaire pourrait alors avoir intérêt à voir se développer des éoliennes industrielles de façon anarchique et pas très vertueuse, afin de lui servir de faire-valoir.

Alors que le lobby nucléaire, qui se bat aujourd'hui pour la survie de la filière, aurait, semble-t-il, des moyens et des arguments assez forts pour rayer les éoliennes de la carte, il s'abstient. En effet, les aérogénérateurs et sa cohorte de défauts – intermittence, détérioration des paysages, coûts du soutien public, pratiques condamnables, etc. – lui sont utiles pour dresser un bilan comparatif à leur avantage entre EnR et nucléaire. Les éoliennes représentent ainsi le bouc émissaire idéal pour faire apparaître l'électricité nucléaire comme décarbonée, sûre, pilotable et peu coûteuse, qui garantit l'indépendance énergétique et le prestige de la France.

Ainsi, la SFEN ne rate aucune occasion de relayer¹⁸⁵ les faiblesses de l'énergie éolienne. De même, Jean-Marc Jancovici ne se prive pas d'affirmer¹⁸⁶ à qui veut l'entendre à quel point la technologie éolienne est indigente face aux problèmes climatiques et énergétiques de notre époque. Quant à la commission Julien Aubert, dont le rapport se fonde sur le parc historique vieillissant pour tirer des conclusions pour l'avenir, elle ne doute pas que la France fait fausse route en s'engageant dans la voie des énergies renouvelables, et des éoliennes en particulier, au détriment du nucléaire.

5.5 La polémique sur les éoliennes, une spécificité française ?

a) Analyse de cas à l'international

Si l'opinion publique française semble majoritairement favorable aux énergies renouvelables, il n'en demeure pas moins que la polémique suscitée par les éoliennes apparaît plus développée en France auprès des riverains que dans d'autres pays.

La plateforme EPAW¹⁸⁷, dont le président, Jean-Louis Butré, est également le président de la FED, nous démontre qu'il existe une opposition aux éoliennes dans de nombreux pays du monde. Par exemple, aux Pays-Bas, sévit un groupe d'activistes anti-éoliens, considéré comme menaçant pour la sécurité publique par le NCTV, l'agence nationale antiterroriste néerlandaise¹⁸⁸. Cependant, si nous étudions, pour chaque pays, le nombre d'adhérents à cette plateforme anti-éolienne, nous nous apercevons que parmi les leaders de l'énergie éolienne dans le monde, le Royaume-Uni compte 121 membres, l'Allemagne 193, l'Espagne 25, le Danemark 19, et les USA 13¹⁸⁹, tandis que la France en dénombre... 998 !

Afin de comprendre comment cette spécificité s'active, nous nous sommes attachés à l'examen des politiques étrangères concernant le développement de l'éolien. Les exemples de l'Allemagne, du Danemark, du Royaume-Uni, de l'Espagne, de la Chine et des États-Unis

¹⁸⁵ <https://www.sfen.org/rgn/coup-chaud-reseau-electrique>

¹⁸⁶ <https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/pourrait-on-alimenter-la-france-en-electricite-uniquement-avec-de-leolien/>

¹⁸⁷ European Platform Against Windfarms, <http://www.epaw.org/>

¹⁸⁸ <https://www.lemondedelenergie.com/pays-bas-dmilitants-anti-eoliennes-terroristes/2019/06/25/>

¹⁸⁹ Cependant les USA développent leur propre plateforme, le National Wind Watch

peuvent nous apporter les éclairages nécessaires à une bonne compréhension du contexte français.

En effet, parmi ces pays, 5 font partie des principaux marchés mondiaux en 2019, la Chine, les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne et l'Espagne. Selon le dernier rapport du GWEC, la Chine et les États-Unis restent de loin les premiers marchés au monde pour l'éolien terrestre, ces deux pays ayant compté pour plus de 60 % des nouvelles capacités terrestres installées en 2019. Quant au Danemark, il est érigé en exemple en matière de développement harmonieux de l'énergie éolienne.

Le **Royaume-Uni**¹⁹⁰ nous a semblé particulièrement intéressant à étudier, car il est à la fois le leader de l'énergie éolienne offshore, doté de plus de 2000 éoliennes offshore sur un total de 10 800, tout en ayant misé sur un EPR, celui d'Hinkley Point, projet porté par le français EDF et le chinois CGN. La polémique anti-éolienne s'active sur les mêmes sujets qu'en France, à savoir la dégradation des paysages et le système de soutien financier. La production éolienne atteint néanmoins 17 % en 2019 et le gouvernement britannique s'est engagé à ce que l'éolien offshore représente un tiers de la production électrique d'ici 2030. Le développement de l'énergie éolienne au UK est favorisé par une volonté politique de sortir du charbon sur lequel le pays a fondé sa réussite durant de longues années. Le mécanisme de soutien mis en place semble particulièrement efficace. Le pays peut également capitaliser sur des conditions de vent favorables et sur son expérience du pétrole offshore. Pour autant, le gouvernement britannique entend conserver le nucléaire au sein de son mix électrique, convaincu qu'EnR et nucléaire sont complémentaires.

Aux **États-Unis**¹⁹¹, l'opposition est présente avec le National Wind Watch¹⁹², qui fédère, à travers une plateforme internet, les principales associations d'opposition à l'éolien des pays anglophones, dont le Canada ou l'Australie. Le récent film de Michael Moore, « Planet of Humans » sorti le 21 avril 2020 sur Youtube, a relancé la polémique dans ce pays. Sur ce point, le cinéaste rejoint celui dont il avait pourtant vertement critiqué l'arrivée au pouvoir dans son film « Fahrenheit 11/9 », Donald Trump. Ce dernier, fervent détracteur de l'énergie éolienne, aurait pu mettre un frein au développement de cette EnR aux États-Unis. Il entend en effet miser sur le nouveau nucléaire et le charbon au détriment des EnR. Pourtant, en 2019, pour la première fois depuis la période industrielle, la consommation d'énergies renouvelables aux USA aura été supérieure à celle du charbon¹⁹³. L'éolien est l'EnR la plus performante dans ce pays, ayant même dépassé l'hydraulique. Les États-Unis sont ainsi le 2^e producteur mondial d'électricité éolienne derrière la Chine, avec 278 TWh. L'éolien n'y représente pourtant que 7,3 % de la production totale, loin derrière le gaz.

L'ambition du pays reste néanmoins élevée en matière de développement des EnR, avec un objectif de 30 % du mix électrique d'ici 2030. Certains États prévoient même 100 % d'EnR d'ici 2045, à l'instar de la Californie. Pour réussir, les États-Unis peuvent capitaliser sur une longue accoutumance des Américains aux éoliennes individuelles, ainsi que sur des conditions de vent favorables et de grands espaces inoccupés. Les principaux acteurs économiques américains tels que les GAFAM, voulant offrir une image écologiquement

¹⁹⁰ Cf Annexe 9

¹⁹¹ Cf Annexe 8

¹⁹² Wind Energy Opposition and Action Groups <https://www.wind-watch.org/>

¹⁹³ <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/transitions-ecologiques/aux-etats-unis-les-energies-renouvelables-detronent-le-charbon-848968.html>

responsable, sont aujourd'hui les premiers acheteurs de l'électricité éolienne, devenant son principal soutien.

L'**Espagne**¹⁹⁴ a été l'un des pionniers de l'éolien industriel, se lançant dans cette voie dès la fin des années 90 face à l'explosion de la demande électrique, en raison de la pauvreté de ses ressources énergétiques et de sa méfiance envers le nucléaire. Aujourd'hui le mix électrique contient 21 % de gaz naturel (56 TW) et 37 % d'EnR dont 18 % d'éolien (51 TW). Ainsi, sa filière éolienne industrielle est performante à tous les niveaux de la chaîne de valeur, représentant 3 584 M€ et 24 000 emplois directs. Bien que comptant près de 23 000 éoliennes pour une superficie de 505 911 km², inférieure à celle de la France, l'Espagne ne fait face qu'à une très légère polémique, depuis que les éoliennes ont été implantées en plaine et non plus sur les crêtes montagneuses, où leur implantation avait provoqué un vif soulèvement de la population. L'ambition du pays est d'atteindre 70 % d'électricité renouvelable d'ici 2030 et 100 % d'ici 2040. Pour y arriver, le pays peut compter sur sa filière industrielle et son cadre légal et financier, permettant un cadre économique propice au développement de cette énergie.

L'**Allemagne**¹⁹⁵ est le leader européen de l'énergie éolienne avec 53,9 GW installés fin 2019 qui représentent du mix électrique. Le pays s'est en effet engagé en 1990 dans une politique ambitieuse en faveur des EnR, l'EnergieWende, qui vise à la sortie du nucléaire d'ici 2022 et du charbon d'ici 2038. Or, la diminution des capacités de production électrique pilotables en faveur d'énergies intermittentes a un coût. Les Allemands payent ainsi leur électricité 45 % plus cher que la moyenne européenne. Néanmoins, fin 2019, l'Allemagne semble à la peine pour atteindre ses objectifs de réduction de ses émissions de CO₂. En effet, le pays est désormais doté de près de 30 000 éoliennes terrestres, pour une superficie d'environ 357 500 km². Si cette forme d'énergie faisait largement consensus au lancement de la politique, la population arrive à saturation, et la polémique grandit au fur et à mesure que la date de désengagement effective du nucléaire approche. Les éoliennes sont en particulier accusées de favoriser les émissions de GES en obligeant l'Allemagne à recourir à des centrales à charbon lorsque cette énergie intermittente ne produit pas assez. Les experts s'accordent également à dire que cette forte production d'électricité intermittente complique beaucoup la gestion du réseau européen durant les périodes hivernales. De plus, depuis l'amendement de l'EEG en 2016, prévoyant l'arrêt du mécanisme de soutien au profit d'un système d'appels d'offres, les leaders de la filière, Enercon ou Siemens, sont en difficulté. Cela a conduit à une diminution de 16 % des investissements en 2018 par rapport à 2017 et à des licenciements au sein de la filière. Afin de se sortir de ce mauvais pas, l'Allemagne table sur l'offshore et l'hydrogène vert¹⁹⁶ pour relancer le secteur.

La **Chine**¹⁹⁷ dispose du plus grand parc éolien du monde, représentant 229,6 GW installés, soit 5,6 % de l'électricité produite dans le pays, dépassant la part de nucléaire. Premier fabricant mondial d'éoliennes depuis 2013, 5 des 10 leaders mondiaux sont chinois, le groupe Goldwind en tête, se plaçant au 2^e rang mondial derrière Vestas, avec 13,2 % de part de marché. La Chine vise des objectifs de développement très ambitieux pour la filière,

¹⁹⁴ Cf Annexe 7

¹⁹⁵ Cf Annexe 4

¹⁹⁶ <https://www.usinenouvelle.com/article/comment-l-allemande-veut-devenir-le-numero-1-des-technologies-de-l-hydrogene.N973986>

¹⁹⁷ Cf Annexe 5

devant couvrir 17 % des besoins en électricité en 2050, soit 1 000 GW de capacité éolienne à cet horizon. La filière serait aujourd'hui suffisamment mature pour se passer de soutien étatique. Le fort soutien du gouvernement chinois envers cette énergie a entraîné une forte adhésion de la population, d'autant qu'elle a engendré des retombées économiques non négligeables. Il n'existe donc pas de polémique autour de cette forme d'énergie. La Chine semble néanmoins se heurter à des difficultés de gestion du réseau liées, une fois encore, à l'intermittence de cette énergie, qui freine le développement de l'éolien onshore. L'éolien offshore semble alors la voie privilégiée par la Chine pour continuer à développer cette énergie.

Rapporté à sa superficie et à sa population, le **Danemark**¹⁹⁸ est le champion hors catégorie de l'énergie éolienne. Ce pays possède en effet un peu plus de 6000 éoliennes, dont 550 offshore, qui ont couvert 47 % de la consommation totale d'électricité en 2019. Le pays possède en particulier une solide filière éolienne, dont le leader mondial des turbiniers, l'entreprise Vestas, qui détiendrait 16,2 % de parts de marché. Ce succès est rendu possible grâce aux stations STEP que mettent la Norvège et la Suède à la disposition du Danemark pour stocker l'électricité éolienne. Il est également dû à un accompagnement poussé de la part du gouvernement pour garantir l'acceptabilité des éoliennes par les citoyens. La polémique est donc relativement faible dans ce pays, en raison de l'implication active de la population dans le développement des éoliennes, bien que le Danemark contienne plus de 6000 éoliennes terrestres pour une superficie de près de 43 000 km². La contestation est surtout activée par les pêcheurs vis-à-vis des parcs offshore, mais ils ont été dédommagés en conséquence. Le pays vient d'adopter, courant juin 2020, un plan climat afin de réduire ses émissions de CO₂ de 70 % d'ici 2030. Pour ce faire, l'éolien terrestre ayant atteint son potentiel maximal, le pays n'hésite pas à miser sur des solutions innovantes pour développer son parc offshore, comme bâtir des « îles énergétiques » artificielles¹⁹⁹.

À l'issue de cette étude de cas, il apparaît que les pays réussissant à développer une part importante d'électricité renouvelable dans leur mix peuvent se fonder sur une politique énergétique de long terme en faveur des EnR, et sur une forte volonté d'implication de la population. Il ressort également de cette étude qu'au-delà d'une certaine production, des difficultés importantes de gestion du réseau font leur apparition, excepté au Danemark dont le réseau est relié à un système de STEP. L'éolien offshore, bénéficiant d'un taux de charge plus important et régulier, est donc systématiquement privilégié au bout d'un certain stade. Enfin, la polémique est plus active dans les pays possédant déjà une énergie de base prépondérante comme le nucléaire.

b) L'exception nucléaire française

La France est le deuxième gisement de vent européen après la Grande-Bretagne. Pourtant, elle n'est située qu'au 4^e rang derrière l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni. Cela serait dû à un blocage plus important des projets éoliens en France qu'ailleurs. Si l'éolien attise davantage les critiques dans l'Hexagone, c'est que la production électrique française s'appuie largement sur le nucléaire, qui représente plus de 70 % de la production électrique. Ainsi, en 2020, sur les 125 réacteurs nucléaires que compte l'Europe au total, répartis dans

¹⁹⁸ Cf Annexe 6

¹⁹⁹ <https://www.revolution-energetique.com/danemark-des-iles-artificielles-pour-produire-de-lelectricite/>

14 pays, la France en totalise 57²⁰⁰. Suivent le Royaume-Uni (15 réacteurs), la Suède (8), l'Espagne, l'Allemagne et la Belgique (7 chacun).

Au fil des ans, le nucléaire s'est imposé comme la filière économique et industrielle la plus forte de la France. 40 ans plus tard, la France est le pays le plus nucléarisé au monde, rapporté au nombre d'habitants. Plus de 71 % de notre électricité est produite par la fission de l'atome, contre à peine 10 % à l'échelle mondiale. Ainsi, elle est déjà très décarbonée, puisqu'elle se situe au 2^e rang des pays les plus décarbonés des pays développés derrière la Norvège. La légitimité des énergies alternatives est donc moins solide que dans d'autres pays, comme l'Allemagne ou le Danemark, où l'électricité était produite essentiellement à partir de charbon, à un coût plus élevé qu'en France. La CRE soulignait déjà en 2008 le cas particulier de la France dans un projet d'arrêté²⁰¹ concernant le mécanisme d'achat : « *le développement de l'énergie éolienne doit être considéré comme un moyen, parmi d'autres, de parvenir à une diminution des impacts environnementaux de notre consommation d'énergie. Si le choix d'un tel moyen est rationnel dans les pays européens dont le parc de production conventionnel recourt majoritairement à l'utilisation de combustibles fossiles, comme l'Allemagne, l'Espagne ou le Danemark, il est d'une efficacité moindre en France métropolitaine, où 78 % de l'électricité sont produits par des centrales nucléaires et 10 % par des centrales hydrauliques. En raison de la part très limitée des énergies fossiles dans son parc de production d'électricité, la France est aujourd'hui l'un des pays industrialisés les plus performants en matière d'émissions de gaz à effet de serre par habitant.* »

À ce titre, la nécessité de passer aux EnR n'est pas toujours bien comprise, d'autant que, contrairement à ce qui s'est produit pour le nucléaire, énergie centralisée qui s'est développée dans un contexte de nationalisation, le développement de l'énergie éolienne s'est fait tardivement, dans un contexte de décentralisation et de libéralisation du marché de l'énergie. Son implantation n'a donc pas été accompagnée d'un pilotage public, mais portée par des acteurs privés motivés par le seul appât du gain, qui envahissent le territoire. Tandis que le nucléaire est régi par des décisions centralisées au niveau de l'Etat, sans concertation publique, les EnR sont déployées par des acteurs privés locaux au cœur des territoires. Selon Alain Nadai et Olivier Labussière²⁰², chercheurs au CIREN, il en résulte une politique éolienne fondée sur l'offre et déconnectée des enjeux d'économie d'énergie.

L'action du gouvernement pour tenter de développer l'énergie éolienne se borne à définir des objectifs chiffrés qui se succèdent dans un empilement de législations, mais sans avoir la possibilité de la piloter directement ni de façon centralisée. Il existe donc une contradiction au sein de la décentralisation d'une politique publique portée par des intérêts privés, qui tranche nettement avec la façon dont le nucléaire a été accompagné depuis les années 70, à laquelle les Français sont habitués.

Le syndrome Not In My BackYard ne serait que le rejet de cette incohérence politique rejaillissant sur les éoliennes.

²⁰⁰ Bientôt 56 avec l'arrêt du deuxième réacteurs de Fessenheim programmé le 30 juin 2020

²⁰¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do> ;

jsessionid=D173F091A9E7E0C99F6C1E5BC5EC7C1F.tpdjo16v_3?cidTexte=JORFTEXT000019918450&idArticle=JORFARTI000019918467&dateTexte=20081213&categorieLien=cid

²⁰² Journal de l'éolien, « Paysage et éolien, au-delà des clichés », 2009, http://www.eeel.centre-cired.fr/IMG/pdf/Nadai_Labussiere_Paysage_et_eolien_eeel_.pdf

c) Le rapport des Français au paysage

Une autre explication possible de la plus grande résistance des Français aux éoliennes est la spécificité des paysages de l'Hexagone, qui font de ce pays la première destination touristique du monde. Après la Révolution Française, la production d'électricité a été centralisée en peu d'endroits. Au fil du temps, beaucoup d'infrastructures ont été rendues invisibles, comme les lignes téléphoniques par exemple. La France bénéficie d'une politique et d'une législation spécifiques²⁰³, la beauté des paysages étant emblématique du pays à l'international et un enjeu d'attractivité pour les territoires. Toute dégradation de l'environnement naturel entraîne une forte opposition locale, plus importante que dans d'autres pays. La réapparition des outils de production énergétique dans le paysage peut donc heurter les habitants.

Cette opposition entraîne un retard considérable dans la construction des parcs. Alors qu'ils pourraient voir le jour en 3 ans, ce qui est rapide comparé à une centrale nucléaire ou thermique, le devoir d'information et de concertation des riverains peut entraîner jusqu'à 7 ans de délai supplémentaire²⁰⁴.

Cela peut s'expliquer par le fait que l'énergie éolienne a été implantée en France alors que les aérogénérateurs avaient déjà atteint une taille industrielle, et qu'ils ont été d'emblée concentrés dans les zones les mieux ventées, confrontant la population de ces régions à une présence envahissante. D'autres pays pionniers de cette production énergétique ont imposé progressivement les aérogénérateurs industriels, ce qui a favorisé leur acceptation par la population. Ainsi, l'implantation de parcs éoliens est souvent contestée en raison de son empreinte territoriale sur les paysages, les éoliennes restant des machines industrielles contrastant avec leur environnement naturel, d'autant que leur taille est de plus en plus impressionnante. Un vaste travail pédagogique pour convaincre les citoyens de l'utilité de ces machines pour la transition énergétique est nécessaire, faute de quoi, l'acceptabilité peut être remise en cause.

Toujours selon Alain Nadaï et Olivier Labussière, la politique paysagère française repose, depuis le XIXe siècle sur des périmètres de protection visuelle des monuments et des sites protégés, qui ne permettent pas de gérer l'impact visuel d'un parc éolien, parfois perceptible à 20 ou 30 km de distance. Ainsi, l'implantation d'éoliennes ne peut se faire sans un travail de planification paysagère locale très encadrée par l'État, qui s'accorde avec les lois paysagères et qui intègre une concertation des riverains très en amont²⁰⁵.

Un groupe de travail²⁰⁶ sur le développement équilibré de l'énergie éolienne en France a été formé à l'initiative d'Elisabeth Borne, ministre de la Transition écologique et solidaire, et Emmanuelle Wargon, secrétaire d'État à la Transition écologique. Il vise notamment à mieux répartir les éoliennes sur le territoire français et à pratiquer une meilleure insertion paysagère.

d) L'éolienne industrielle, une contradiction sémiologique à résoudre

²⁰³ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politique-des-paysages>

²⁰⁴ <https://www.rte-france.com/fr/article/prevoir-et-investir-pour-adapter-notre-reseau>

²⁰⁵ Alain Nadaï, Olivier Labussière, Acceptabilité sociale et planification territoriale, éléments de réflexion à partir de l'éolien et du stockage du CO₂, 2010, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00562042/document>

²⁰⁶ Rapport Stockage stationnaire d'électricité, ministère de l'économie, mars 2019, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/elisabeth-borne-annonce-des-mesures-renforcer-lacceptabilite-lenergie-eolienne>

D'un point de vue sémiologique²⁰⁷, les éoliennes font émerger nombre d'ambivalences qui peuvent aussi expliquer qu'elles cristallisent les crispations. Du côté de sa symbolique positive, l'éolienne est une énergie fondée sur le vent, une ressource naturelle, renouvelable, invisible, pure, gratuite. Sa forme de fleur élancée, le plus souvent de couleur blanche, renforce encore la connotation écologique de cette forme d'énergie. Le champ sémantique employé par la filière française est résolument bucolique, entre « bouquet » énergétique, « ferme », « champ » ou « parc » d'éoliennes, ou encore « foisonnement ».

Or, les éoliennes industrielles, du fait de leur dimension hors-norme, leur couleur, leurs mouvements, contrastent fortement avec leur environnement et les paysages si chers aux Français lorsqu'elles sont implantées dans un milieu naturel. Elles ne sont en réalité que des centrales électriques classiques, nécessitant pour leur construction les mêmes matériaux polluants et non biodégradables, très impactantes pour la biodiversité et l'écosystème, et souvent réduites à des préoccupations financières et économiques par leurs défenseurs et les médias. Les riverains démarchés par les promoteurs éoliens se retrouvent souvent en proie aux affres de la finance voire de l'escroquerie, des pratiques qui ne choquent pas autant lorsque le secteur ne fonde pas ses vertus sur le développement durable.

La forte contradiction entre écologie et industrialisation, extrêmement prégnante au sein des éoliennes, explique donc en partie la forte polémique qu'elles suscitent en France.

²⁰⁷ La sémiologie est l'étude des signes verbaux et non verbaux émis par une personne ou un objet

PARTIE 6/QUEL AVENIR POUR L'ÉOLIEN EN FRANCE ?

In fine, que choisir entre le nucléaire, techniquement complexe, très coûteux, non exempt de dangers et incertain quant à son avenir, ou les énergies renouvelables immatures, intermittentes et envahissantes ? Concernant le nucléaire, le savoir-faire des ingénieurs et techniciens français, le discours rassurant des responsables, ainsi que l'expérience d'une cinquantaine d'années de gestion du parc nucléaire sans aucun accident grave plaident pour la sûreté de la filière. Mais les exemples étrangers montrent qu'il suffit d'une erreur humaine ou de situations jugées improbables jusqu'à ce qu'elles surviennent, pour provoquer des dégâts irréversibles. Pour ce qui est des EnR, et des éoliennes en particulier, leurs défenseurs affirment que les technologies ont beaucoup évolué depuis les années 2000, que leur rendement a progressé et que leur variabilité, est déjà, et continuera à être compensée par les progrès techniques du réseau et du stockage. Reste néanmoins l'épineuse question de l'effet de taille, polluant l'environnement visuel des riverains, et des pratiques pas toujours vertueuses des promoteurs éoliens. Dans ce contexte, les éoliennes ont-elles leur place dans le mix énergétique français et européen de demain ? À quelles conditions ?

6.1 L'éolien, des progrès encore possibles

a) Mettre au point des unités de stockage efficaces de l'électricité

Nous avons vu que le principal reproche formulé contre les éoliennes concernait son intermittence couplée à des difficultés de stockage de l'énergie produite. Améliorer les capacités de stockage des éoliennes permettrait d'utiliser l'énergie produite, en trop grande quantité à certaines périodes par rapport à la demande, à des moments où les EnR ne produisent pas assez. Ainsi, le stockage d'électricité représente un défi majeur de la transition énergétique au niveau mondial.

En France²⁰⁸, la plupart de l'énergie éolienne produite n'est pas stockée, mais directement intégrée au réseau de distribution électrique au moment de sa production. Les centrales thermiques, beaucoup plus flexibles que le nucléaire, constituent la variable d'ajustement en fonction des conditions météorologiques. L'énergie éolienne produite est donc utilisée en temps réel. En matière de stockage de l'excédent d'électricité produite, plusieurs solutions au niveau de maturité varié coexistent. En pratique, l'électricité, afin d'être stockée, doit être convertie en une autre forme d'énergie qui sera à son tour retransformée en électricité au moment de son utilisation²⁰⁹. Chaque étape induit un coût et des pertes de rendement. Ces autres formes d'énergies sont mécaniques telles les STEP, thermiques via le stockage de froid ou de chaleur comme les ballons d'eau chaude, ou chimiques comme l'hydrogène²¹⁰.

À ce jour, les STEP hydrauliques semblent la solution la plus efficace. Néanmoins, en France, qui compte 6 STEP, les capacités de stockage par ce biais semblent bientôt atteintes. Parmi les autres technologies de stockage, les batteries sont celles qui suscite le plus d'espoirs et d'investissements de recherche & développement. La France serait particulièrement

²⁰⁸ Le stockage d'électricité en France, CRE, septembre 2019, <https://www.cre.fr/content/download/21318/271898>

²⁰⁹ https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/stockage_electricite.pdf

²¹⁰ Cf Annexe 3

avancée dans ce domaine. Si beaucoup de technologies différentes de batteries existent²¹¹, aucune pour l'instant ne remplit tous les critères de coût, efficacité et sécurité requis. Une autre voie explorée est le stockage sous forme d'hydrogène produit par électrolyse en utilisant de l'électricité d'origine renouvelable. Selon un rapport de l'IRENA paru en septembre 2019²¹², l'hydrogène « vert » semble très prometteur en matière d'efficacité, de coûts et de bilan carbone. Il pourrait compter pour 8 % de la consommation mondiale d'énergie finale à l'horizon 2050. En France, Air Liquide, Engie ou Hydrogène de France s'attachent à créer une solide filière industrielle²¹³ fondée sur ce processus. Celle-ci, certainement très porteuse à termes, en est cependant à ses prémices, ce qui ne lui permettrait pas de jouer un rôle substantiel durant la prochaine décennie.

En définitive, à l'horizon 2050, l'Agence internationale de l'énergie prévoit que les capacités de stockage d'énergie seront de l'ordre de 200 à 300 GW, soit une part infime de la production d'énergie mondiale. Le domaine est une nouvelle fois suspendu aux innovations technologiques.

b) Améliorer la flexibilité du réseau grâce aux smartgrids

En complément des progrès de stockage, un changement d'habitude de consommation pourraient accompagner la transition énergétique vers les énergies renouvelables. À l'instar des tarifs jour/nuit proposés par EDF pour encourager les particuliers à consommer de l'électricité durant les heures creuses, il s'agirait d'inciter les particuliers et professionnels à consommer de l'électricité durant les périodes où les énergies renouvelables sont productives : lorsque le soleil brille, ou que le vent souffle. À titre d'exemple, une entreprise pourrait inciter ses salariés à recharger leur véhicule électrique durant la journée au bureau, plutôt que la nuit chez eux.

Le développement des « Smartgrids » ou réseaux intelligents peut répondre à cette nécessité de rendre les consommateurs plus réactifs face à la production électrique. En effet, le réseau actuel est construit sur une production totalement pilotable et contrôlable face à une consommation mal maîtrisée. L'équilibre en temps réel est assuré par une adaptation de la production à la consommation. L'ajout de nouvelles technologies peut faire évoluer le réseau vers un système dont l'ajustement est fondé sur la consommation d'électricité. Cela permet de gérer une production plus intermittente. Pour y parvenir, les réseaux électriques intelligents ont deux caractéristiques : être « communicants » et interactifs, et permettre d'échanger des données entre les différents acteurs du système électrique – producteurs, distributeurs et consommateurs – sur l'utilisation de l'énergie par chacun. Ces nouvelles technologies optimisent l'efficacité et la flexibilité du réseau tout en maintenant l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité. Des actions de pilotage de la consommation pourront être mises en place, telles l'anticipation, l'effacement ou le report de certaines consommations aux heures de pointe, de façon automatique ou par signalement auprès du consommateur. En France, le compteur Linky, très controversé, serait pourtant l'une des briques du développement de ces réseaux intelligents aptes à piloter la

²¹¹ Lithium-ion (Li-ion), Sodium-soufre (Na-s), Redox-flow, batteries acides avancées, solid-state

²¹² Hydrogen, a renewable energy perspective, septembre 2019, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

²¹³ Rapport filière hydrogène énergie, 2015, https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/filiere-hydrogene-energie.pdf

demande d'électricité. Selon RTE²¹⁴, la gestion de la demande existe déjà, via les dispositifs EcoWatt ou éCO₂mix, mais elle est fondée sur la proactivité des consommateurs. Des progrès technologiques restent à faire pour que le réseau soit en mesure de gérer véritablement la demande de façon précise et dynamique, ce qui représenterait un coût. Cependant, RTE, dans son Schéma Décennal de Développement du Réseau²¹⁵, publié en 2019, estime la fourchette haute de ce surcoût à 4 € le MWh à l'horizon 2035.

La France serait leader européen²¹⁶ des réseaux intelligents, vivement encouragés par la stratégie de la GreenTech verte dont ils sont l'un des piliers. Plusieurs projets sont en cours tels le projet Smile²¹⁷ (pour SMart Ideas to Link Énergies) en Bretagne et en Pays de la Loire, ou le projet VENTEEA d'Enedis²¹⁸, s'appuyant sur un parc éolien implanté à Vendevre-sur-Barse, dans l'Aube. ERDF coordonne également le projet européen Grid4EU. Cependant, une entreprise chinoise, State Grid of China, l'équivalent chinois d'EDF et RTE réunis, pourrait lui damer le pion²¹⁹.

En attendant que les smartgrids deviennent une réalité, le foisonnement des éoliennes nécessite des réseaux plus étendus pour favoriser une interconnexion des zones de production.

Par ailleurs, les smartgrids pourraient faire émerger de nouveaux risques tels que des potentielles attaques en matière de cybersécurité. En effet, si les réseaux électriques ont recours depuis longtemps à des systèmes d'information et de communication électroniques pour transmettre les données nécessaires à la gestion de la production, du transport et de la distribution d'énergie, les systèmes d'information dédiés aux réseaux électriques utilisent des systèmes propriétaires, pour la majorité fermés. L'intégration des réseaux intelligents de communication et d'échanges de données, qui s'appuient sur des technologies telles qu'Internet Protocol (IP) ou le « Cloud Computing », augmente le niveau de risque²²⁰. D'autres failles pourraient apparaître, comme des difficultés à gérer l'obsolescence du réseau ou une plus grande dépendance à des fournisseurs extérieurs.

c) Développer une industrie française de l'éolien, en particulier offshore

Nous avons vu que les pays pour lesquels l'énergie éolienne fonctionne le mieux peuvent s'appuyer sur une filière éolienne offshore. Cette voie semble représenter une alternative pertinente de développement pour la France, étant donné les capacités d'innovation de la filière dans l'Hexagone. En effet, les leaders actuels, le Royaume-Uni et la Chine, ont 10 ans d'avance, mais la filière française, en matière d'éolien flottant notamment, présenterait des atouts certains.

Cependant, cela impliquerait de la part de l'Etat une réelle politique industrielle misant sur l'encouragement du développement de nouveaux acteurs réellement en pointe sur ces technologies, plutôt que de favoriser les grands groupes préexistants, ayant forgé leur réputation et leur savoir-faire sur une autre forme d'énergie. Cette connivence Etat/Grands

²¹⁴ <https://www.rte-france.com/fr/article/un-reseau-de-transport-d-electricite-smart-toujours-plus-intelligent>

²¹⁵ Schéma Décennal de développement de réseau, RTE, 2019, <https://www.rte-france.com/sddr2019-complet>

²¹⁶ <https://www.lesechos.fr/partenaires/enedis-la-transition-connecte/la-france-en-pointe-sur-les-smart-grids-1208655>

²¹⁷ <https://smile-smartgrids.fr/fr>

²¹⁸ <https://www.enedis.fr/venteea>

²¹⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=cZtFxysq2mE>

²²⁰ <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=gestion-donnees-cyber-securite>

groupes ne semble pas la meilleure pour créer une filière industrielle d'excellence autour des EnR.

Dans le futur, l'étude de projets éoliens farshore, c'est-à-dire en haute-mer à plus de 30 kilomètres des côtes, ouvrent des perspectives encore plus intéressantes que l'offshore classique, avec des vents encore plus soutenus et réguliers, et un partage de l'espace maritime moins problématique. Cette technologie est néanmoins encore en phase de recherche préindustrielle.

6.2 L'éolien, un allié de la territorialité ?

a) Une autonomie énergétique des régions plébiscitée

S'il semble hors de propos que le vent remplace le nucléaire, surtout à courte échéance, cette énergie présente néanmoins l'avantage de pouvoir équiper des zones isolées et œuvrer à l'autonomie énergétique des régions. En effet, même si certains départements sont plus ventés que d'autres, le vent souffle partout.

Or, une autre problématique engendrée par la façon dont l'éolien est actuellement industrialisé réside dans la centralisation des aérogénérateurs au sein de vastes parcs alimentant le réseau général, ce qui permet de réduire le coût du MWh, alors que cette forme d'énergie semblerait plus adaptée à une gestion décentralisée et territorialisée.

Selon le sondage de BVA, « *Les Français et l'énergie* »²²¹ réalisé en mars 2018, la territorialisation de l'énergie apparaît comme une attente prioritaire de la population française, ainsi que le montrent certains verbatim : « *Mon attente prioritaire est l'autonomie de ma région en utilisant toutes les ressources de la mer proche* » ; « *Vivant en Bretagne, que la part d'énergies renouvelables se développe plus rapidement afin de gagner en autonomie* » ; ou encore « *J'aimerais que l'on commence à penser la production d'énergie au niveau local et non à faire venir l'énergie de centrales lointaines avec une perte très importante d'énergie entre le début et la fin des lignes électriques* ».

Ainsi, les EnR peuvent représenter un atout pour l'avenir énergétique des territoires, comme pour la Bretagne qui ne produit que 13 % de l'électricité qu'elle consomme, en raison de ses réticences envers le nucléaire, alors qu'elle réunit les conditions requises pour le développement de parcs éoliens en mer.

b) Une décentralisation apte à assurer la sécurité des territoires

La décentralisation de l'énergie, encouragée par le gouvernement depuis 2016, pourrait être une réelle opportunité d'autonomie pour les territoires. À l'inverse du système centralisé de production électrique, dans lequel une unique centrale nucléaire alimente une grande part du territoire, la production décentralisée consiste à bâtir un système sur des petites unités d'énergies renouvelables, de faible capacité, parfois même installées pour l'autoconsommation, raccordées au réseau électrique de basse ou moyenne tension²²². Afin de réussir cette transition, les collectivités sont invitées à s'impliquer dans le pilotage du

²²¹ <https://www.bva-group.com/sondages/les-francais-et-lenergie/>

²²² <https://www.pwc.fr/fr/decryptages/territoires/decentralisation-energie-opportunit-e-pour-entreprise.html>

système d'énergie. Le Schéma Directeur des Energies (SDE)²²³ les aide dans cette démarche de diagnostic et de définition de leur stratégie de planification énergétique.

La décentralisation de la production favorise l'autonomie des territoires en permettant une production localisée, distribuée par des réseaux indépendants. Elle place également le consommateur au cœur du système, qui peut enfin maîtriser l'origine et le coût de l'électricité, l'encourageant à des usages plus vertueux de l'énergie.

Elle assurerait surtout, en théorie, la résilience du réseau local en cas d'incident majeur sur le réseau principal. Or, c'est là que le bât blesse, ce pilotage équilibré du réseau restant dépendant de progrès techniques autour des microgrids, ces mini-réseaux « intelligents » qui peuvent être débranchés temporairement du réseau central afin de fonctionner de façon autonome en cas d'incident.

Ce changement de système énergétique implique un repositionnement des acteurs historiques de l'énergie en France, qui sont amenés à repenser leur gouvernance, jusque-là centralisée. Cela rejoint la question du droit à l'autoconsommation électrique face aux obligations passées de se raccorder au réseau. D'après la dernière PPE, l'autoconsommation et la production locale d'énergie sont une tendance lourde qui va redessiner le paysage énergétique en France dans les prochaines années, grâce au développement massif du photovoltaïque.

c) Une énergie aux retombées économiques positives pour les territoires

L'autre avantage de l'éolien réside dans l'opportunité de reconstruire une filière industrielle française. Bureaux d'études, fabricants de composants d'éoliennes, entreprises chargées de l'assemblage, de l'installation (génie civil) et du raccordement de parcs éoliens, de l'exploitation et du démantèlement... La filière éolienne a permis de créer 18 000 emplois directs et indirects sur tout le territoire français, avec des spécificités par région. Ils seraient néanmoins répartis principalement en région parisienne et dans les zones industrielles. Ainsi, selon une étude récente du SER²²⁴, 80 % de la valeur créée par le développement des énergies renouvelables profite à l'économie nationale. Le développement de la filière pourrait encourager la densification du tissu industriel local, notamment dans les zones où des parcs éoliens offshore sont implantés.

Quant aux élus locaux, ils seront naturellement séduits par les perspectives de recettes promises par l'installation d'éoliennes sur le territoire de leur commune. Le tissu local bénéficierait d'environ 10 000 à 15 000 €/MW installé par an²²⁵, répartis entre commune, intercommunalité et département, au titre notamment des taxes foncières, de la Cotisation Foncière des Entreprises, de la Cotisation sur la Valeur Ajoutée des Entreprises et de l'Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseaux. L'étude du SER démontre que les retombées fiscales et la valeur ajoutée générées par les énergies renouvelables sont bien supérieures aux montants des soutiens publics qui leur sont consacrés. Chaque euro de soutien public investi dans les énergies renouvelables générerait en moyenne 2 euros de

²²³ Schéma directeur des énergies : conjuguer mix énergétique, planification territoriale et urbanisme, janvier 2020, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/schemas-directeur-des-energies-010929.pdf>

²²⁴ Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires, 2020, https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/synthese-ser-ey-contribution-des-enr_290120.pdf

²²⁵ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/eolien-terrestre>

valeur ajoutée en 2019, dont les territoires sont très largement bénéficiaires. Les retombées fiscales des énergies renouvelables vers les collectivités locales sont estimées à 1 milliard d'euros en 2019, et à 1,6 milliard d'euros en 2028.

d) Mieux impliquer les citoyens

Afin de réussir cette transition énergétique des territoires, une meilleure implication des citoyens apparaît incontournable. Tout d'abord parce que la décentralisation repose en partie sur l'autoconsommation, mais surtout, parce que l'acceptabilité des projets éoliens est intimement liée à cette implication en amont. Lorsque les projets de parc éolien engagent les citoyens riverains, la gouvernance locale permet de prévenir les problèmes d'acceptabilité et de réorienter le projet en fonction des requêtes des habitants en lui intégrant des aménagements réduisant les nuisances, comme par exemple le bridage des éoliennes à certaines heures afin qu'elles fassent moins de bruit.

L'éolien citoyen consiste à impliquer les riverains et les collectivités locales dans le financement et la gouvernance des parcs éoliens, de façon qu'ils puissent également bénéficier de leurs retombées économiques. Les EnR créent ainsi des opportunités d'investissement participatif et citoyen, favorisant les circuits courts de l'épargne.

L'un des axes de travail du groupe « éoliennes » de l'Assemblée Nationale est d'œuvrer au renforcement du financement participatif des parcs et à la co-construction des projets avec les territoires.

Mieux impliquer les citoyens semble être la principale recette du succès de la filière éolienne dans les territoires, comme le montrent les exemples réussis du Danemark ou de l'Allemagne.

Or, ce fonctionnement s'avère être en opposition totale avec le modèle appliqué pour développer l'énergie nucléaire dans les années 70. Dans un contexte de guerre froide et de choc pétrolier, l'énergie nucléaire avait été imposée en France sans consultation publique, malgré la désapprobation de nombreux scientifiques, comme les économistes de l'Institut de l'énergie de Grenoble, les physiciens du Collège de France, du CNRS et de diverses universités ou les 4 000 scientifiques signataires de « l'Appel des 400 » de février 1975, du nom de 400 scientifiques s'inquiétant publiquement de cette orientation majeure. En tant qu'énergie centralisée, excluant les citoyens des circuits de décision, le nucléaire symbolise la puissance nationale et entre en contradiction avec les revendications montantes de démocratie participative. C'est pourquoi le passage aux énergies renouvelables peut-être perçu comme une avancée démocratique, permettant de se réappropriier les moyens de production localement, en concertation avec les citoyens.

6.3 L'éolien pour éviter l'effondrement

a) Sortir de l'indécision politique

Nous avons vu que le développement de l'éolien est fortement assujéti aux volontés politiques françaises et européennes. Depuis les premières conférences pour le climat, les politiques énergétiques de l'Union Européenne se sont fortement orientées vers les énergies renouvelables, en se bornant principalement à un empilement législatif définissant des objectifs chiffrés de réduction des GES.

Encore immatures, ces nouvelles énergies remettent en effet trop en cause le fonctionnement du système énergétique qui a fait ses preuves pour accompagner la croissance économique. Nous avons vu qu'à l'instar des entreprises polluantes qui se lancent dans les EnR pour des questions d'image, les politiques énergétiques européennes semblent à leur tour victimes de greenwashing, affirmant haut et fort leur volonté de développer ces EnR au nom de la transition énergétique, mais ne fixant pas de directives suffisantes pour que ce développement soit une réalité efficiente. Le récent Green New Deal européen semble en être la parfaite illustration. Les éoliennes sont en effet appréciées des politiques en tant qu'emblème de la transition énergétique, qui se voit de loin.

Or, l'exemple de l'implantation de l'énergie nucléaire en France nous montre qu'il faut 20 ans pour construire une politique énergétique efficace. Malheureusement, la libéralisation du marché de l'énergie et le raccourcissement du mandat électoral ne favorisent plus cette réflexion à long terme. Les logiques de court-terme et de profit prédominant, de façon à répondre aux impératifs des opérateurs privés qui œuvrent désormais dans le secteur. Les tergiversations permanentes de nos dirigeants sur la question énergétique conduisent nos sociétés droit dans le mur, en ne tranchant pas sur une voie claire à suivre. Dans ce contexte, la capitalisation sur l'énergie éolienne, dont la sémiologie est très symbolique, n'est pas forcément le meilleur choix énergétique, mais le meilleur choix de communication.

La réelle stratégie énergétique française semble pour l'instant une incitation à l'électrification afin de justifier sa politique du « et en même temps » nucléaire et EnR, ainsi qu'une concentration sur le développement des GreenTech vertes²²⁶, indispensables au développement des EnR. Celles-ci sont vivement encouragées par le Ministère de la Transition Ecologique depuis 2016, épousant admirablement la ligne de la croissance verte. Fonder sa stratégie énergétique sur une industrie balbutiante détenue par des start-up²²⁷ au fonctionnement souvent instable nous paraît éminemment dangereux dans l'état actuel des choses.

En tout état de cause, la décentralisation d'une partie de la planification énergétique au niveau des territoires apparaît nécessaire lorsque l'État renonce à prendre en charge sérieusement cette question de la transition énergétique.

b) Des économies d'énergies incontournables

Que le choix se porte sur le nucléaire, sur les EnR, ou sur un mix entre les deux, les experts énergéticiens s'accordent sur le fait qu'il sera nécessaire de faire des économies d'énergie. En effet, dans le cas du nucléaire, il existe un risque de rupture de service sur certains réacteurs. De plus, le prix du nouveau nucléaire sera beaucoup plus important qu'actuellement, grevant la facture des ménages si aucune politique de soutien, à l'instar de ce qui existe pour l'éolien, n'est instaurée. Dans le cas des EnR, l'intermittence fait craindre une production insuffisante pour satisfaire tous les besoins. Par ailleurs, même si leur bilan environnemental est bien meilleur que celui des autres énergies, nucléaire comme EnR ne sont pas totalement décarbonées et génèrent des déchets et un recours massif au béton. Ainsi, pour reprendre l'adage cher à négaWatt, l'énergie la moins polluante est celle qu'on ne consomme pas.

²²⁶ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/greentech-verte>

²²⁷ Liste des start-ups de la GreenTech Verte, <https://greentechverte.fr/la-liste/>

c) Sobriété et efficacité énergétiques, seules portes de sortie

Les économies d'énergie peuvent être réalisées en ayant recours à deux piliers : la sobriété et l'efficacité énergétiques.

La **sobriété** énergétique consiste à supprimer les consommations inutiles, par exemple, éteindre les lumières des bureaux la nuit lorsque personne n'y travaille, tandis que **l'efficacité énergétique** vise à développer des technologies et pratiques qui permettent de diminuer la consommation d'énergie tout en conservant le même service final. Les étiquettes-énergies des appareils électroménagers participent de cette démarche d'innovation. Ces deux principes sont inscrits dans la loi relative à la transition énergétique pour une croissance verte, pilotée par les programmations pluriannuelles de l'énergie.

Ces piliers semblent être le résultat d'une stratégie d'influence efficace de la part de l'association négaWatt²²⁸, auprès d'instances comme l'ADEME, RTE ou de personnalités au plus haut niveau de l'État. Association à but non lucratif créée en 2001, négaWatt est dirigée par un collège de membres actifs, la Compagnie des négawatts, qui rassemble une vingtaine d'experts impliqués dans des activités professionnelles liées à l'énergie. Ces notions de sobriété et d'efficacité énergétique sont deux des trois piliers de leurs scénarii, selon lesquels les watts négatifs, c'est-à-dire les watts que l'on aura évité de consommer, pourraient fortement réduire l'impact environnemental de la production d'énergie, sans même changer de système. La « production » de négawatts doit donc être recherchée dans toute activité industrielle. Théorisée par l'écologiste américain antinucléaire Amory Lovins, fondateur du Rocky Mountain Institute²²⁹, cette notion de « production de négawatts » se fonde sur l'idée qu'il est moins onéreux d'économiser de l'énergie que d'en dépenser et que beaucoup de kilowatts heure inutiles sont produits, donc gaspillés, en l'absence de volonté politique orientée vers la sobriété et l'efficacité énergétique. Ainsi, d'après l'association négaWatt, 30 % de la facture d'énergie acquittée par une entreprise ou un foyer représenteraient une dépense inutile et un gaspillage facile à éradiquer sans gros efforts, par exemple en rénovant les bâtiments afin de mieux les isoler, en mettant fin à l'obsolescence programmée ou en développant la location de biens et de services au détriment de la propriété.

Dans le World Energy Outlook 2019²³⁰, publié par l'AIE, il est en particulier rappelé l'importance de faire progresser l'efficacité énergétique. Cependant, depuis quelques années, la consommation finale d'électricité s'est stabilisée en France au lieu de diminuer, malgré des équipements de plus en plus économes et efficaces d'un point de vue énergétique. Cela s'explique par le fait que, si l'efficacité énergétique est bien mise en place par les politiques énergétiques de ces 20 dernières années, ce n'est pas le cas de la sobriété énergétique qui devrait lui être associée. Les ordinateurs, de plus en plus performants, restent de plus en plus longtemps allumés tandis que nos téléviseurs sont, certes, moins énergivores, mais ils ont triplé de taille. Quant à la dématérialisation numérique, elle

²²⁸ <https://negawatt.org>

²²⁹ <https://rmi.org/>

²³⁰ World Energy Outlook 2019, AIE, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/1f6bf453-3317-4799-ae7b-9cc6429c81d8/English-WEO-2019-ES.pdf>

nécessite énormément de métaux rares et d'électricité. De fait, son empreinte carbone progresserait actuellement de 9 % par an²³¹.

d) Sortir de la monoculture

Ainsi, une autre catégorie de défenseurs des éoliennes émerge. Il s'agit des pragmatiques, ayant bien étudié la question énergétique. Entre une opinion publique défavorable au nucléaire et des EPR extrêmement coûteux et incertains, ils jugent plus prudent de développer les EnR en parallèle, moins chères à développer, car ayant bientôt atteint leur stade de maturité, et aptes à recréer une filière industrielle française qui fait cruellement défaut aujourd'hui.

De leur point de vue, le développement des énergies renouvelables répond surtout au besoin de diminuer la dépendance de la France vis-à-vis du nucléaire, au cas où les EPR ne soient jamais lancés. Seules alternatives acceptables à ce jour d'un point de vue des émissions de GES, les EnR permettraient ainsi de parer à une éventuelle rupture d'électricité, si elles sont associées à la sobriété et à l'efficacité énergétique. En effet, ces deux piliers sont incontournables de leur développement, et de celui de l'énergie éolienne en particulier, faute de quoi, les régions les plus ventées de France pourraient se retrouver couvertes d'éoliennes. Il n'est de surcroît pas nécessaire d'importer du combustible pour faire fonctionner une éolienne.

Que ce soit pour des questions de souveraineté énergétique, de résilience ou d'enjeux économiques, il serait donc certainement prudent d'envisager une diversification des sources de production électrique. Un mix piloté finement par un réseau bien déployé dans les territoires, fondé sur la complémentarité des énergies, avec une base fiable, stable et centralisée assurée par l'énergie nucléaire, couplée à un mix d'énergies renouvelables décentralisées, aux mains des citoyens semblerait la voie à privilégier.

6.4 Quel bilan global de l'énergie éolienne pour le mix énergétique français de demain ?

Selon le dernier rapport du Global Wind Power²³², l'année 2019 est synonyme de forte croissance pour l'énergie éolienne, avec 60,4 GW de capacité installée dans le monde, dont 6,2 GW d'éolien offshore. Cela représente une hausse de 19 % par rapport à 2018. L'année 2019 affiche ainsi le deuxième meilleur résultat de l'histoire de la filière après 2015, portant la capacité mondiale cumulée de l'éolien à 651 GW. Cela représenterait 1 390 TWh de production électrique, soit près de 5,8 % de la consommation annuelle d'électricité dans le monde. En ce qui concerne l'énergie nucléaire, celle-ci assure environ 10 % de la production mondiale et un peu plus d'un quart de la production européenne d'électricité.

²³¹ <https://www.publicsenat.fr/article/parlementaire/empreinte-environnementale-du-numerique-la-sobriete-ce-n-est-pas-le-retour-au>

²³² Global Wind Report 2019, <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>

Au niveau européen²³³, l'énergie éolienne a compté pour 13,4 % de la production d'électricité en 2019 et pour 6,3 % de celle de la France métropolitaine selon RTE²³⁴, des chiffres encore très en deçà de ce que l'énergie nucléaire peut représenter.

Néanmoins, nous sommes contraints de constater que la tendance lui est favorable et qu'il sera maintenant difficile de faire marche arrière. Au bilan, l'énergie éolienne, dans le contexte français, comporte un certain nombre de forces, mais également beaucoup de faiblesses. Il est donc important d'identifier les risques ou opportunités que le développement de cette forme d'énergie peut représenter pour la France.

Forces :

- Elle est fondée sur une ressource renouvelable et décarbonée qui sera toujours disponible, gratuitement de surcroît : le vent
- Cette ressource est particulièrement favorable en France, pays qui bénéficie du deuxième gisement de vent européen, et d'au moins 3 régimes de vent complémentaires exploitables
- Elle émet peu de CO₂ au cours de son cycle de vie et œuvre donc à ce titre à la décarbonation de l'énergie lorsqu'elle se substitue à des énergies fossiles
- Le coût de production du MWh éolien est de plus en plus compétitif, permettant d'envisager de se passer d'un soutien étatique à un horizon proche
- Elle représente des déchets et des risques associés moindres que le nucléaire

Faiblesses :

- Il existe une incohérence entre la promesse environnementale induite par les éoliennes et leur réalité industrielle (impacts négatifs sur la biodiversité et recyclage peu satisfaisant)
- Il s'agit d'unités de production électriques très visibles, et qui le seront de plus en plus au fil du repowering. Elles peuvent paraître trop prégnantes pour certains riverains et paysages. L'énergie éolienne peut donc souffrir d'un défaut d'acceptabilité
- Son faible taux de charge fait craindre de devoir démultiplier les éoliennes si nous n'atteignons pas en parallèle des objectifs de réduction drastique de la consommation d'électricité
- Il s'agit d'une énergie intermittente dont l'intégration au réseau général nécessite des aménagements conséquents si l'on veut atteindre le stade d'un foisonnement efficace
- Il s'agit d'une énergie non pilotable, malgré une prévision à 72h des conditions météorologiques
- Elle est dépendante de progrès techniques pour être réellement mature,
- Il n'existe pas de réelle filière française dans l'industrie éolienne
- Son innocuité pour la santé humaine et avifaune n'est pas démontrée de façon formelle

²³³ The European Power Sector in 2019, Agora Energiewende et Sandbag, février 2020, https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/172_A-EW_EU-Annual-Report-2019_Web.pdf

²³⁴ Bilan électrique 2019, RTE, janvier 2020, https://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan-electrique-2019_1.pdf

Opportunités :

- Le contexte politique européen est favorable au développement de l'énergie éolienne,
- Elle est en train d'atteindre la rentabilité économique sans subvention étatique
- L'éolien en mer semble plus prometteur du point de vue de sa rentabilité énergétique au regard des différents indicateurs analysés : gisement de vent, taux de charge, stabilité et prévisibilité
- La filière offshore semble représenter un important potentiel de développement économique. La France pourrait donc s'engager dans l'industrialisation de cette filière. Elle est cependant dépendante d'innovations technologiques.
- Bien développée et intégrée, cette énergie pourrait participer d'une plus grande souveraineté énergétique
- Le développement décentralisé de parcs en concertation avec les citoyens pourrait œuvrer pour l'autonomie énergétique des territoires
-

Risques :

- Le contexte politique français semble en revanche plus hésitant, un projet de loi ayant été déposé en janvier 2020 pour tenter de ralentir le développement de la filière éolienne²³⁵
- La filière française pâtit de la concurrence d'entreprises allemandes et danoises, voire chinoises
- Elle doit bénéficier de ressources en R&D pour gagner en maturité, or d'autres énergies peuvent capter les investissements, comme le solaire ou le nouveau nucléaire
- Les innovations techniques dont elles pourraient faire l'objet, notamment l'éolien de grande hauteur peuvent impacter négativement leur acceptabilité
- La filière éolienne doit poursuivre ses efforts de développement de bonnes pratiques pour entrer en cohérence avec les valeurs de transition écologique que les éoliennes symbolisent, faute de quoi, cela pourra gravement nuire à son image
- Le développement de l'énergie éolienne en bonne intelligence risque de remettre en cause la gouvernance actuelle de l'énergie, fondée sur la centralisation et la redistribution de l'énergie, plutôt que sur sa délocalisation.

Au regard de cette analyse, au-delà des progrès technologiques qui paraissent indispensables au développement de cette énergie, il apparaît pertinent de maintenir un mix électrique qui combine différentes sources d'énergies renouvelables et qui conserve surtout une part importante de production nucléaire afin d'assurer une plus grande sécurité et stabilité d'approvisionnement, sous réserve des remises à niveau nécessaires du parc.

En France, les énergies renouvelables se substitueraient ainsi en priorité aux énergies fossiles. À ce titre, l'énergie éolienne représente, à ce jour, l'énergie renouvelable la moins

²³⁵ Proposition de loi n° 2571 pour un développement responsable et durable de l'énergie éolienne, http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2571_proposition-loi#

carbonée et la plus rentable et mature. Il est donc logique de lui accorder une place dans le mix. Elle se heurte néanmoins à un défaut d'acceptabilité qu'il est primordial de prendre sérieusement en compte, en impliquant mieux les citoyens lors de leur implantation et en remettant à plat le système de gouvernance énergétique. Sa version offshore, et même farshore, en particulier flottant, gagnerait à être développée en France, car moins susceptible d'empiéter sur les paysages et apte à devenir une filière de pointe sur laquelle le pays peut encore prendre l'avantage.

CONCLUSION

Le débat entourant le développement des énergies renouvelables, et de l'énergie éolienne en particulier, semble totalement tronqué. En effet, d'un côté le lobby nucléaire n'aurait pas voix au chapitre au risque de passer pour des climatosceptiques tueurs des jeunes générations, tandis que le lobby éolien ne pourrait prendre le risque de s'attaquer en profondeur à une énergie qui fait largement consensus au sommet de l'État, et au sein même du Ministère de la Transition Ecologique, le ministère de tutelle des deux formes d'énergie, qui détermine l'encadrement réglementaire de la filière. Ainsi, les pro-éoliens comme les pro-nucléaires ont choisi de se battre sur l'échiquier de la société civile, en manipulant les foules pour ou contre tel type d'énergie. Pour autant, les experts du sujet continuent à s'écharper au-dessus des citoyens en les excluant dudit débat.

Jusqu'à l'an dernier, la guerre de l'information par le contenu paraissait gagnée par les pro-éoliens au détriment du nucléaire. En effet, le lobby vert était, semble-t-il parvenu à faire régresser l'énergie nucléaire vers un point de non-retour à courte échéance en France, ainsi qu'au niveau mondial. Pourtant, les récentes prises de position gouvernementales françaises laissent croire à un retournement de situation vis-à-vis de l'éolien terrestre, à l'instar d'autres pays comme l'Allemagne qui avait pourtant doté ses terres de près de 30 000 mâts, mais le point de saturation semble atteint. Un projet de loi n° 2571 pour un développement responsable et durable de l'énergie éolienne, déposé en janvier 2020, est à l'étude en France.

Énergie envahissante pour les paysages, peu rentable en raison de son intermittence, et possiblement coûteuse par manque de flexibilité, l'éolien terrestre a souffert d'un développement anarchique et souvent peu vertueux à ses débuts, ne favorisant pas son acceptation par la population. Les anti-éoliens en ont profité pour surexploiter ces manquements, dont la plupart ont pourtant été améliorés au fil des années. Aujourd'hui, les différentes innovations techniques apportées aux éoliennes pourraient rendre cette énergie éligible en matière d'efficacité. Cependant, l'amélioration du facteur de charge des éoliennes, et donc de son rendement énergétique, est corrélé à un gain de taille et d'amplitude dont les impacts sur le paysage et l'environnement risquent d'être encore plus prégnants. Une solution satisfaisante de stockage, qui compenserait en partie cet effet de taille, n'a pas encore été trouvée.

D'aucuns diront que c'est la faute du lobby nucléaire, qui représente le véritable obstacle au développement d'une industrie française des énergies renouvelables. En faisant bloc contre les EnR, il freine toute tentative de former un mix énergétique résilient et sécurisé pour la France. Les choix stratégiques des années 70, parfaitement justifiés par une réflexion en bonne intelligence sur la question énergétique, ont toutefois engendré un lobby puissant, réfractaire à tout changement. Pourtant, les prévisions d'augmentation de la consommation électrique liée à l'intensification de l'électrification des usages laissent penser qu'il y aura de la place pour le développement de tous les modes de production électrique décarbonés.

L'énergie éolienne représente aujourd'hui 7,4 % du mix électrique français, un chiffre qui, selon la PPE publiée le 23 avril dernier, devra être porté à 20 % en 2028. Cette production est actuellement exclusivement assurée par l'éolien terrestre dont il faudrait doubler le nombre d'ici à 2028. Or, nous avons vu que l'éolien industriel terrestre rencontre une

farouche opposition de la part de nombreux riverains et que l'acceptation de ces machines est de moins en moins acquise pour la population française. Les récentes déclarations et orientations prises par le gouvernement semblent avoir pris la mesure de cette contestation. Dans ce contexte, l'éolien offshore fait l'objet de toute l'attention et de tous les espoirs. Même les professionnels de la filière éolienne semblent tourner le dos aux éoliennes terrestres pour se concentrer sur les énergies marines, qui présentent l'avantage d'être plus efficaces et moins envahissantes. Pourtant, cette filière, ayant été boudée en France peut-être justement en raison de son potentiel qui aurait pu faire de l'ombre au nucléaire, n'a pas atteint le degré de maturité escompté.

Pour implémenter une telle filière, il aurait fallu une volonté politique forte, qui pour l'instant, se borne à déterminer des objectifs chiffrés au travers d'un empilement législatif français et européen, sans réflexion à long terme. La mise en œuvre de la politique énergétique française entourant les EnR est ainsi confiée à des acteurs privés, promoteurs éoliens par exemple, dont la seule motivation est celle du profit, bien loin des considérations de stabilité ou de cohérence de la chaîne énergétique française.

Au bilan, la polémique entourant les éoliennes sert bien malgré elle l'essai de mise sous tutelle de la souveraineté énergétique de la France, et européenne par les États-Unis, l'Allemagne et la Chine. En effet, aujourd'hui, sortir du nucléaire signifierait obligatoirement construire des centrales à gaz naturel en complément des EnR intermittentes et non stockables qui prendront le relais quand il y a du vent et du soleil. Or le gaz est russe ou américain. De même, l'absence de filière éolienne française représente une opportunité juteuse pour les entreprises allemandes, danoises ou chinoises.

Dans l'état actuel de l'art, la diversification du mix énergétique français semble une priorité pour tenter d'échapper à cette mise sous tutelle et à l'effet-falaise attendu dans quelques années. En effet, il ne semble ni prudent de capitaliser uniquement sur le nucléaire, ni de miser à 100 % sur des EnR dépendantes de technologies non abouties. La sobriété et l'efficacité énergétique, associées à une distribution d'énergie décentralisée, gérée au niveau de chaque territoire régional, voire par des particuliers, via l'autoconsommation, pourraient représenter la solution. Ainsi, le nucléaire assurerait la base décarbonée et centralisée de la production tandis que les EnR pourraient accompagner les territoires dans leur transition énergétique et apporter la flexibilité qui fait défaut au nucléaire. En tout état de cause, il est primordial que la France se dote des moyens qui permettront à la fois de remettre à niveau sa filière nucléaire et de constituer une filière d'EnR décarbonées crédible. Faute de quoi, demain, comme le déclarait Jean-Marc Jancovici dans une tribune du 1^{er} mai 2020²³⁶, à défaut de combustibles fossiles disponibles, « *l'avenir sera peut-être un jour à nouveau 100 % renouvelable. Mais sûrement pas dans les conditions figurant actuellement dans les programmes électoraux* ».

En réalité, les gouvernements successifs se sont plus attachés à des logiques électoralistes individuelles, prenant les décisions qui leur permettaient de gagner des voix et non d'assurer l'avenir énergétique de la France. En particulier, ils ne parviennent pas à trancher sur l'avenir du nucléaire, qui à la fois souffre d'un déficit d'image auprès de l'opinion publique et prend part à l'économie française de façon importante. Il en résulte une politique énergétique sous forme de cote mal taillée, où le gouvernement n'ose plus encourager le nucléaire, qui

²³⁶ <https://jancovici.com/publications-et-co/articles-de-presse/en-route-pour-les-renouvelables/>

périclité, mais n'ose pas non plus soutenir correctement les EnR, qui croissent de façon anarchique, poussées par des intérêts financiers privés. Actuellement, la France semble dans une impasse énergétique, entre un parc nucléaire vieillissant qui inquiète les experts et qui coûte de plus en plus cher à maintenir, un nouveau nucléaire incertain et très onéreux, et des énergies renouvelables non suffisamment matures et accompagnées pour le remplacer.

La crise de la covid-19 aura peut-être éveillé une conscience parmi nos dirigeants sur la nécessité de recréer une filière industrielle forte autour du système énergétique français, souverain pour le pays. Une telle filière pourrait être plus déconcentrée qu'actuellement, afin d'œuvrer à une plus grande autonomie des territoires. Dans la refonte de cette filière, il y aurait de la place pour toutes les énergies décarbonées, nucléaire comme EnR, dans une logique de complémentarité et non d'opposition.

Ainsi, pour reprendre les termes d'Edgar Morin, « *la crise a révélé le problème de fond que pose une administration de l'État hyperbureaucratisée et soumise en ses sommets à des pressions et intérêts paralysant toutes réformes* »²³⁷. Selon l'auteur, c'est ce vide de la pensée politique, lié à un état défaillant, qui est problématique. Un État dénué de vision.

Or, la question énergétique telle qu'elle se pose actuellement en France ne mériterait-elle pas que tous les dirigeants et experts du sujet réfléchissent en commun, au-delà de toute polémique, à un avenir résilient pour la France ?

Cette réflexion à long terme risque cependant d'être retardée par le possible rebattement des cartes que pourrait provoquer la récente poussée des écologistes aux élections municipales françaises de 2020. L'avenir reste encore à écrire.

²³⁷ Edgar Morin, *Changeons de voie*, Gallimard, 2020, p.56

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Éolienne de Charles F. Brush	21
Figure 2 : Eolienne Askov de Poul La Cour – Source : http://www.windsofchange.dk/	22
Figure 3 : Eolienne Darrieus au sein du parc Éole – Source : futura-sciences.com	22
Figure 4 : Mécanisme d’obligation d’achat – Source : Observ’ER.....	25
Figure 5 : Les grands objectifs de la loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte – Source : Connaissancedesenergies.org	27
Figure 6 : Production nette d’électricité en France métropolitaine – Source : Bilan RTE 2019	31
Figure 7 : Consommation finale d’électricité en France – Source : Bilan électrique 2019, RTE	32
Figure 8 : Les gisements de vents en France – Source : European Wind Atlas et ADEME	39
Figure 9 : Schéma d’ensemble d’une éolienne – Source : Vikidia.....	40
Figure 10 : Durée de vie et facteur de charge des énergies primaires électriques – Source : ADEME..	42
Figure 11 : Répartition régionale de la puissance éolienne raccordée au 31/12/19 – Source : Panorama des EnR, SER.....	43
Figure 12 : Production d’électricité éolienne par région en 2019 – Source : Panorama des EnR, SER .	44
Figure 13 : Couverture de la consommation finale par l’électricité éolienne en 2019 – Source : Panorama des EnR, SER.....	44
Figure 14 : Principaux mouvements de consolidation au sein du marché éolien français depuis 2016, à mai 2019	47
Figure 15 : Cartographie des projets éoliens en mer – Source : Observatoire de l’éolien en France 2019, FEE	48
Figure 16 : Émissions de CO2 prenant en compte l’AVC – Source : ADEME	51
Figure 17 : Estimation des coûts de flexibilité du réseau – Source : ADEME	54
Figure 18 : Évolution de la taille et puissance des éoliennes en Allemagne depuis 1984 – Source : Enercon	59
Figure 19 : Évolution des recherches GOOGLE sur le mot-clef « éolienne » de janvier 2004 à mars 2020 – GOOGLE TRENDS	60
Figure 20 : Evolution des recherches GOOGLE sur le mot-clef « nucléaire » de juin 2012 à mars 2020 – Source : GOOGLE TRENDS – Période réduite afin de masquer le pic provoqué par l’accident de FUKUSHIMA	61
Figure 21 : Illustration de la pétition lancée par la SPPEF en avril 2020 contre le projet de parc éolien Provencialis sur la montagne Sainte-Victoire	73
Figure 22 : Synthèse des échiquiers politique, sociétal et concurrentiel	74
Figure 23 : Chiffres économiques avancés par FEE dans l’observatoire de l’éolien 2019.....	78
Figure 24 : Un village de la Beauce défiguré par les éoliennes – Source : VIAPL	79
Figure 25 – Éoliennes abandonnées aux États-Unis	80
Figure 26 – Importations et Exportation d’électricité en France en 2018 – source : le Monde.....	82
Figure 27 : Cartographie d’acteurs du mouvement écologiste.....	89
Figure 28 : BloombergNEF 2018.....	92
Figure 29 : Part des centrales solaires et éoliennes dans les mix électriques des principaux pays en 2020 et 2050. Source : Bloomberg NEO 2019	92
Figure 30 : Capacité de production d’électricité installée dans le scénario 2000-2040.....	93
Figure 31 : Présentation des 3 scénarios de l’AIE en fonction de leurs émissions de CO2	94
Figure 32 : Comparaison des prévisions de mix énergétiques dans le monde à l’horizon 2050.....	94

BIBLIOGRAPHIE & SOURCES

* Ouvrages

ALIZART, Mark, Le coup d'état climatique, PUF, 2020

BAFOIL, François, L'énergie éolienne en Europe, Presses de Sciences Po, 2016

BARRE, Bertrand, MERENNE-SCHOUMAKER, Bernadette, Atlas des Énergies mondiales, 4^e édition, Autrement, 2017

BIHOUIX, Philippe, L'âge des Low Tech, Vers une civilisation techniquement soutenable, Seuil, Paris, 2014

BIHOUIX, Philippe, Le bonheur était pour demain, Seuil, 2019

BOUGLÉ, Fabien, Éoliennes : La face noire de la transition écologique, Éditions du Rocher, 2019

BOUNEAU Christophe, VARASCHIN Denis, Les paysages de l'électricité, Peter Lang, Bruxelles, 2012

BUTRE, Jean-Louis, BERTHON, Hugues, Éolien : une catastrophe silencieuse, L'Artilleur, 2017

DUMONT, Pierre, KERGORLAY, Denis de, Éoliennes : chronique d'un naufrage annoncé, François Bourin Editions, 2018

FRESSOZ Jean-Baptiste, L'apocalypse joyeuse, une histoire du risque technologique, Points, 2020

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas, The entropy law and the economic process, Harvard University Press, 1971

KERLIRZIN, Thibault, Greenpeace : une ONG à double fond(s), VA Editions, 2018

LAIDI, Ali, Les Etats en guerre économique, Seuil, 2010

MAZZUCCHI, Nicolas, Énergies : Ressources, technologies et enjeux de pouvoir, Armand Colin, 2017

MORIN, Edgar, Changeons de voie, les leçons du coronavirus, Denoël, 2020

MOROZOV, Evgeny, Pour tout résoudre cliquez, FYP Editions, 2014

PIERUCCI, Frédéric, Le piège américain, Lattes, 2019

PITRON, Guillaume, La guerre des métaux rares, Les liens qui libèrent, 2018

RAPIN, Marc, NOEL, Jean-Marc, Energie éolienne : du petit éolien à l'éolien offshore, 3e édition, Dunod, 2019

SOUCHAY, Grégoire, Les mirages de l'éolien, Seuil-Reporterre, 2018

*** Cadre législatif**

Loi de transition énergétique pour la croissance verte, ministère de l'Écologie et de la transition énergétique, 2015,

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385>

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

Accords de Paris, 2015, <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25874-Accord-de-Paris.pdf>

Loi énergie-climat, 2019, <https://www.vie-publique.fr/loi/23814-loi-energie-et-climat-du-8-novembre-2019>

Stratégie Nationale Bas Carbone, mars 2020, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, 23 avril 2020, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

Pacte Vert pour l'Europe, 2019, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

Proposition de loi n° 2571 pour un développement responsable et durable de l'énergie éolienne, janvier 2020, http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2571_proposition-loi#

*** Rapports, études et brochures**

Académie de Médecine, Rapport sur les nuisances sanitaires des éoliennes terrestres, 2017, <http://www.academie-medecine.fr/wp-content/uploads/2017/05/Rapport-sur-les-%C3%A9oliennes-M-Tran-ba-huy-version-3-mai-2017.pdf>

ADEME, Coût des énergies renouvelables et de récupération, janvier 2020, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/couts-energies-renouvelables-et-recuperation-donnees-2019-010895.pdf>

ADEME, Schéma directeur des énergies : conjuguer mix énergétique, planification territoriale et urbanisme, janvier 2020, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/schemas-directeur-des-energies-010929.pdf>

ADEME, Fiche technique, Terres rares, énergies renouvelables et stockage d'énergie, novembre 2019, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-terres-rares-energie-renouvelable-stockage-energie-2019.pdf>

ADEME : L'éolien en 10 questions, avril 2019,
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-eolien-en-10-questions.pdf>

ADEME, Trajectoires d'évolution du mix électrique à horizon 2020-2060, décembre 2018,
<https://www.ademe.fr/trajectoires-devolution-mix-electrique-a-horizon-2020-2060>

ADEME, Bilan, prospective et stratégie de la filière éolienne, septembre 2017,
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/filiere_eolienne_francaise_2017-rapport.pdf

ADEME, Impacts environnementaux de l'éolien français, 2015,
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

ADEME, L'énergie éolienne, novembre 2012,
https://ademe.typepad.fr/files/guide_ademe_energie_eolienne-1.pdf

Agora Energiewende et Sandbag, The European Power Sector in 2019, février 2020,
https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/172_A-EW_EU-Annual-Report-2019_Web.pdf

Agence Internationale de l'Énergie, World Energy Outlook 2019,
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/1f6bf453-3317-4799-ae7b-9cc6429c81d8/English-WEO-2019-ES.pdf>

ANSES, Rapport d'expertise collective sur l'évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens, mars 2017,
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0115Ra.pdf>

Assemblée Nationale, Commission d'enquête Julien Aubert, sur l'impact économique, industriel et environnemental des énergies renouvelables, sur la transparence des financements et sur l'acceptabilité sociale des politiques de transition énergétique, juillet 2019, http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/dossiers/impact_energies_renouvelables_ce

Assemblée Nationale, Commission d'enquête Olivier Marleix, chargée d'examiner les décisions de l'État en matière de politique industrielle, au regard des fusions d'entreprises intervenues récemment, notamment dans le cas d'Alstom, février 2018,
[http://www2.assemblee-nationale.fr/15/autres-commissions/commissions-d-enquete/commission-d-enquete-sur-les-decisions-de-l-etat-en-matiere-de-politique-industrielle-notamment-dans-les-cas-d-alstom-d-alcatel-et-de-stx/\(block\)/RapEnquete/\(instance_leg\)/15/\(init\)/0-15](http://www2.assemblee-nationale.fr/15/autres-commissions/commissions-d-enquete/commission-d-enquete-sur-les-decisions-de-l-etat-en-matiere-de-politique-industrielle-notamment-dans-les-cas-d-alstom-d-alcatel-et-de-stx/(block)/RapEnquete/(instance_leg)/15/(init)/0-15)

Assemblée Nationale, Rapport Raphaël Gauvain, « Rétablir la souveraineté de la France et de l'Europe et protéger nos entreprises des lois et mesures à portée extraterritoriale », juin 2019, <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/194000532.pdf>

Assemblée Nationale, Rapport Pierre Lellouche sur l'extraterritorialité de la législation américaine, février 2016, <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-info/i4082.pdf>

BloombergNEF, New Energy Outlook 2019, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>

Centre Français de Recherche sur le Renseignement, Racket américain et démission d'Etat, décembre 2014, <https://cf2r.org/wp-content/uploads/2014/12/rr13.pdf>

Club de Rome, Rapport MEADOWS Donella, The limits to growth, 1972, <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>

Conseil Economique pour le Développement Durable, Rapport sur la croissance verte, 2009, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/CEDD%20-%20Croissance%20verte.pdf>

Cour des Comptes, L'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires, février 2020, https://www.ccomptes.fr/system/files/2020-03/20200304-rapport-arret-demantelement-installations-nucleaires-2_0.pdf

Cour des Comptes, L'aval du cycle du combustible nucléaire, 2019, <https://www.ccomptes.fr/system/files/2019-07/20190704-rapport-aval-cycle-combustible-nucleaire.pdf>

Cour des Comptes, La maintenance des centrales nucléaires : une politique remise à niveau, des incertitudes à lever, février 2016, <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/04-maintenance-centrales-nucleaires-RPA2016-Tome-1.pdf>

Cour des Comptes, Les coûts de la filière électronucléaire, janvier 2012, <https://www.ccomptes.fr/fr/documents/1134>

CRE, Le stockage d'électricité en France, septembre 2019, <https://www.cre.fr/content/download/21318/271898>

Deutsche WindGuard, Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland, Jahr 2019, <https://www.windguard.de/jahr-2019.html>

France Energie Eolienne, Observatoire de l'éolien 2019, <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2019/11/observatoire-2019-final.pdf>

France Énergie Eolienne, Paroles d'élus, <https://fee.asso.fr/pub/paroles-delus-pourquoi-leolien-dans-nos-territoires/>

FOLTZ, Jean-Marie, Rapport sur la construction de l'EPR de Flamanville, octobre 2019, <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/271429.pdf>

GIEC, Rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C, Résumé à l'intention des décideurs, 2019,

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf

GAULTIER, Simon P., MARX, Geoffroy, ROUX, Denis, Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer, Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO, 2019, https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf

Global Wind Report 2019, <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>

IRENA, Hydrogen, a renewable energy perspective, septembre 2019, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

Ministère de l'économie, Rapport filière hydrogène-énergie, 2015 https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/filiere-hydrogene-energie.pdf

Ministère de l'économie, Rapport Stockage stationnaire d'électricité, mars 2019, https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/stockage_electricite.pdf

OCDE, L'opinion publique et le nucléaire, 2010, <http://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2010/6860-opinion-publique.pdf>

OMS, Environmental Noise Guidelines, 2018, https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1

ONU, Rapport Brundtland, Notre avenir à tous, 1987, http://www.ceres.ens.fr/IMG/pdf/rapport_brundtland.pdf

PIERPONT Nina, Le Syndrome Eolien : un rapport sur une expérimentation naturelle, 2009, <https://lesyndromeolien.files.wordpress.com/2013/01/windturbine-syndrome.pdf>

ORNANO, Michel d', Rapport d'information sur le nucléaire, novembre 1974, http://www.dissident-media.org/infonucleaire/rapport_ornano.pdf

RTE, Bilan Electrique 2019, janvier 2020, https://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan-electrique-2019_1.pdf

RTE, Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France, 2019, https://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan_previsionnel_19-20.pdf

RTE, Panorama de l'électricité renouvelable au 31 décembre 2019, janvier 2020, <https://www.rte-france.com/sites/default/files/panorama2019-t4-bd2.pdf>

RTE, Schéma décennal de développement de réseau 2019, <https://www.rte-france.com/fr/article/evolution-du-reseau-electrique-francais-l-horizon-2035>

SER, Panorama de l'électricité renouvelable au 31 mars 2019, mars 2019, <http://www.enr.fr/userfiles/files/Panorama%20électricité%20renouvelable/SER-PanoramaElectriciteRenouvelable-31mars2019.pdf>

OCDE, Vers une croissance verte : suivre les progrès, janvier 2012, <http://www.oecd.org/fr/croissanceverte/vers-une-croissance-verte-suivre-les-progres-9789264111370-fr.htm>

CEDD, Croissance verte, novembre 2009, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/CEDD%20-%20Croissance%20verte.pdf>

NADAI Alain, LABUSSIÈRE Olivier, Politique éolienne et paysage, mars 2012, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00674958/document>

SER, Evaluation et analyse de la contribution des EnR à l'économie de la France et de ses territoires, janvier 2020, https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/synthese-ser-ey-contribution-des-enr_290120.pdf

Wind Europe, Wind energy in Europe in 2019, février 2020, <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>

*** Revues**

Ademe et vous, le mag, n° 129, https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2019/10/ademe_le_mag_n129_p-p_bd-1.pdf et n° 131, <https://fr.calameo.com/read/004599499a2a0bdd2cb88>

Books, n° 105, Éolien une belle illusion

CLER Infos : n° 120, <https://cler.org/outils/publications/abonnement-cler-infos/>

Diplomatique, Les Grands Dossiers, n° 43, 47, 97, 100, <https://www.aren24.news/>

Le Journal de l'Éolien, n° 5, 30, 31, 35, <http://www.journal-eolien.org/>

Le journal de l'Éolien Hors Série, Les rumeurs de l'éolien, juillet 2019

Le journal des EnR, n° 247, <http://www.energies-renouvelables.org/>

Le Monde Diplomatique, <https://www.monde-diplomatique.fr/>

Pour Mémoire, Histoire des EnR, Comité d'Histoire, n° 15, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/PM_-_15.pdf

La Revue de l'Énergie, n° 642, 643, 646, 647, <https://www.larevuedelenergie.com/>

We Demain, n° 27, 29, <https://www.wedemain.fr/>

*** Sites internet de référence**

Actu.fr, <https://actu.fr/>

Actu-environnement, <https://www.actu-environnement.com>

ADEME, <https://www.ademe.fr/>

Agence internationale de l'énergie, <https://www.iea.org/>

ANDRA, <http://www.andra.fr/>

Les Archives Nationales, <http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/>

Atlantico, <https://www.atlantico.fr/>

Attac, <https://france.attac.org/>

BP Statistical Review, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Business France, <https://www.businessfrance.fr/>

Cairn info, <https://www.cairn.info/>

Checknews, <https://www.liberation.fr/checknews,100893>

Commissariat à l'Énergie Atomique, <http://www.cea.fr/>

Commission Européenne, <https://ec.europa.eu/>

Commission de Régulation de l'Énergie, <https://www.cre.fr/>

Connaissance des Énergies <https://www.connaissancedesenergies.org/>

Contrepoints, <https://www.contrepoints.org/>

Décrypter l'énergie, <https://decrypterlenergie.org/>

Les Décodeurs, Le Monde, <https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/>

EDF ENR, l'énergie éolienne, <https://www.edfenr.com/lexique/energie-eolienne/> et <https://www.edf.fr/groupe-edf/producteur-industriel/energies-renouvelables/eolien>

Enedis, <https://www.enedis.fr/>

Encyclopédie de l'énergie, <http://www.encyclopedie-energie.org>

ENGIE, <https://www.engie.fr/green/>

Enerdata, <https://www.enerdata.fr/>

Énergie Vérité, <https://www.energieverite.com>

Eolien et biodiversité, <https://eolien-biodiversite.com/>

EPAW, European Platform Against Windfarms, <http://www.epaw.org/>

Eurostat, <https://ec.europa.eu>

Fédération Environnement Durable, <https://environnementdurable.net/>

Fédération des Moulins de France, <https://fdmf.fr/>

France Energie Eolienne, <https://fee.asso.fr/>

France Hydro Electricité, <https://www.france-hydro-electricite.fr/>

Futura Sciences : <https://www.futura-sciences.com>

GreenUnivers, <https://www.greenunivers.com/>

Le site du Gouvernement, <https://www.gouvernement.fr/>

Greenpeace, <https://www.greenpeace.fr/>

Greenpeace, Guide pour une électricité verte, <https://www.guide-electricite-verte.fr>

GreenTech Verte, <https://greentechverte.fr>

IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC), <https://www.ipcc.ch/>

Le Journal de l'environnement, <http://www.journaldelenvironnement.net/>

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>

Ministère de l'économie, <https://www.economie.gouv.fr/>

Le Monde de l'énergie, <https://www.lemondedelenergie.com/>

négaWatt, <https://negawatt.org/>

Observ'er, <http://www.energies-renouvelables.org> et Eur'Observer, <https://www.euroobserver.org/online-database/>

OFATE, <https://energie-fr-de.eu/fr/>

Planète Energies, <https://www.planete-energies.com/fr>

Polemia, <https://www.polemia.com/>

La Radioactivité. com, <https://www.laradioactivite.com/>

Reporterre, <https://reporterre.net>

Réseau Sortir du Nucléaire, <https://www.sortirdunucleaire.org/>

Rockefeller Brothers Fund, <https://www.rbf.org/>

Rocky Mountain Institute, <https://rmi.org/>

RTE, <https://www.rte-france.com/>

Sauvons le climat, <https://www.sauvonsleclimat.org/fr/>

Smartgrids-CRE, <http://www.smartgrids-cre.fr>

Smile Smartgrids, <https://smile-smartgrids.fr/fr>

Société Française d'Énergie Nucléaire, <https://www.sfen.org/>

Stat Info énergie, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

Syndicat des Énergies Renouvelables, <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/>

Total, <https://www.total.com/fr/>

Vent de colère, <https://www.ventdecolere.org/>

Vent et territoires, <http://ventsetterritoires.blogspot.com/>

Vie Publique, <https://www.vie-publique.fr/>

Wind Europe, <http://www.windeurope.org>

Wikipedia, <https://fr.wikipedia.org/>

*** Articles en ligne**

Alerte Environnement, « José Bové est-il à la solde de Rockefeller ? », <http://alerte-environnement.fr/la-face-cachee-des-ong/dossier-le-conspirationnisme/jose-bove-est-il-a-la-solde-de-la-fondation-rockefeller/>

Allemagne énergies, « Bilan 2019 de l'éolien en Allemagne », <https://allemagne-energies.com/2020/02/11/bilan-2019-de-leolien-en-allemande/>

Bilan.ch, « Susan et David Rockefeller, quand l'or noir vire au vert », décembre 2013, https://www.bilan.ch/luxe/susan_david_rockefeller_quand_l_or_noir_vire_au_vert

Breizh.info, « Fabien Bouglé, l'éolienne est le symbole d'une nouvelle religion », octobre 2019, <https://www.breizh-info.com/2019/10/09/128472/fabien-bougle-climat-eoliennes-economie-mafia/>

Challenge, « Eolien offshore, un fiasco économique et politique pour Areva », septembre 2016, https://www.challenges.fr/challenges-soir/eolien-offshore-un-fiasco-economique-et-politique-pour-areva_425900

Challenge, « Le lobby nucléaire américain compte sur un transfert de technologie de la France », janvier 2014, https://www.challenges.fr/entreprise/le-lobby-nucleaire-americain-rend-hommage-a-la-france_169014

Checknews, « Est-il vrai qu'il faudrait 7000 éoliennes pour remplacer Fessenheim ? », juin 2018, https://www.liberation.fr/checknews/2018/06/07/est-il-vrai-qu-il-faudrait-7000-eoliennes-pour-remplacer-fessenheim_1656464

Les Échos, « La France en pointe sur les smartgrids », juin 2020, <https://www.lesechos.fr/partenaires/enedis-la-transition-connecte/la-france-en-pointe-sur-les-smart-grids-1208655>

Les Echos, « Une étude affirme que les éoliennes ne nuisent pas à la santé », juin 2020, <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/une-etude-affirme-que-les-eoliennes-ne-nuisent-pas-a-la-sante-1217505>

Les Echos, « EDF dévoile la liste des 14 réacteurs nucléaires appelés à fermer d'ici 2035 », janvier 2020, <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/nucleaire-edf-donne-la-liste-des-centrales-qui-vont-arreter-des-reacteurs-1164755>

Les Echos, « Les États-Unis font s'effondrer le prix du gaz en inondant le marché mondial », janvier 2020, <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/les-etats-unis-font-seffondrer-le-prix-du-gaz-en-inondant-le-marche-mondial-1164977>

Ecolo.org, Michel Lung, « La face cachée du lobby vert », janvier 2002, http://ecolo.org/documents/documents_in_french/FaceCacheeLobbyVert.Mlung.htm

Economie Magazine, « Prôner la décroissance, ça veut dire quoi ? », <https://www.economie-magazine.com/dossier-34-decroissance.html>

EELV, « Nucléaire, Nicolas Sarkozy ment délibérément aux français », novembre 2011, <https://eelv.fr/nucleaire-nicolas-sarkozy-ment-deliberement-aux-francais/>

Encyclopédie de l'énergie, Électricité éolienne : état de l'art en 2020 et perspectives, <https://www.encyclopedie-energie.org/electricite-eolienne-etat-de-lart-en-2020-et-perspectives/>

Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme, « Pour l'économiste Gaël Giraud, la croissance verte est un nouveau mythe », septembre 2015, <http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/pour-leconomiste-gael-giraud-la-croissance-verte-est-un-nouveau-mythe>

The Free Library, « Behind the environmental lobby », avril 2005, <https://www.thefreelibrary.com/Behind+the+environmental+lobby%3A+it+may+seem+stranger+than+fiction%2C+...-a0131199395>

Iveris, Le Floch Prigent, Loïk, « La turbine Arabelle ou l'indépendance technologique française », septembre 2015, https://www.iveris.eu/list/tribunes_libres/61-la-turbine-arabelle-ou-lindependance-technologique-francaise

Jean-Marc Jancovici, <https://jancovici.com/>

Le Monde, Les Décodeurs, « La baisse du nucléaire, à 50 % en 2025, une promesse jamais suivie de moyens », novembre 2017, https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/11/08/la-baisse-du-nucleaire-a-50-en-2025-une-promesse-jamais-suivie-de-moyens_5212107_4355770.html

Le Monde, « Nouvelle procédure contre l'EPR de Flamanville », mai 2020, https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/05/26/nucleaire-nouvelle-procedure-contre-l-epr-de-flamanville_6040764_3234.html

Le Monde, « La France n'a pas intérêt à ce que le conflit malien s'étende au Niger », 2013, https://www.lemonde.fr/afrique/article/2013/01/30/mines-d-uranium-la-france-n-a-pas-interet-a-ce-que-le-conflit-malien-s-etende-au-niger_1825026_3212.html

Le Monde, « Éoliennes, le nouveau business plan de la Cosa Nostra », novembre 2009, https://www.lemonde.fr/europe/article/2009/11/12/eoliennes-le-nouveau-business-plan-de-la-cosa-nostra_1266486_3214.html

Le Monde, « L'effet falaise, ou pourquoi il faut préparer des fermetures de centrales nucléaires », novembre 2018, https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/11/21/l-effet-falaise-ou-pourquoi-il-faut-preparer-des-fermetures-de-centrales_5386293_3234.html

Le Monde, « Eloi Laurent : il faut déloger la croissance », octobre 2019, https://www.lemonde.fr/idees/article/2019/10/23/eloi-laurent-il-faut-deloger-la-croissance-pour-la-desacraliser-et-lui-substituer-des-indicateurs-de-bien-etre-humain_6016533_3232.html

Le Monde, « Nord Stream 2 : Trump signe la loi imposant des sanctions contre le gazoduc qui doit relier la Russie et l'Allemagne », décembre 2019, https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/12/21/nord-stream-2-trump-signe-la-loi-imposant-des-sanctions-contre-le-gazoduc-qui-doit-relier-la-russie-et-l-allemande_6023691_3234.html

Le Monde, blog de Sylvestre Huet, « En 2018, la France a produit (et exporté) une électricité largement décarbonée », février 2019, <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2019/02/08/en-2018-electricite-decarbonee-et-exportee/>

Le Monde Diplomatique, « Des missionnaires aux mercenaires », novembre 2016, <https://www.monde-diplomatique.fr/2016/11/QUATREPOINT/56762>

Le Monde de l'Énergie, « La Chine peut-elle devenir verte ? », septembre 2019, <https://www.lemondedelenergie.com/chine-peut-elle-devenir-verte/2019/09/13/>

Libération, L'industrie nucléaire refuse l'idée d'un déclin,
https://www.liberation.fr/france/2020/02/21/l-industrie-nucleaire-refuse-l-idee-d-un-declin_1779257

Libres échanges, les économistes et la décroissance, septembre 2018,
<http://blogue.economistesquebecois.com/2018/09/24/les-economistes-et-la-decroissance/>

Observatoire des multinationales, Attac, https://france.attac.org/IMG/pdf/note_nucle_aire-finance-print.pdf

PWC, « Décentralisation de l'énergie, une opportunité pour les entreprises ? »
<https://www.pwc.fr/fr/decryptages/territoires/decentralisation-energie-opportunit-e-pour-entreprise.html>

Reporterre, « L'éolien en France, la grande enquête en 5 volets », décembre 2017,
<https://reporterre.net/L-eolien-en-France-la-grande-enquete-en-5-volets>

Reporterre, « Areva abandonne l'éolien », septembre 2016, <https://reporterre.net/Areva-abandonne-l-eolien-industrie-de-l-avenir>

Révolution énergétique, Opposition à l'éolien, un combat perdu d'avance,
<https://www.revolution-energetique.com/opposition-a-leolien-un-combat-perdu-davance/>

Usbek & Rika, La France sera-t-elle toujours nucléaire en 2050 ? juillet 2019,
<https://usbeketrica.com/article/france-nucleaire-2050>

L'Usine Nouvelle, « Une enquête pointe le lobbying "agressif" des industriels du pétrole et du gaz à Bruxelles », novembre 2019, <https://www.usinenouvelle.com/article/une-enquete-pointe-le-lobbying-agressif-des-industriels-du-petrole-et-du-gaz-a-bruxelles.N902539>

L'Usine Nouvelle, « Et si on arrêtait d'enfouir les pales d'éoliennes ? », février 2019,
<https://www.usinenouvelle.com/article/et-si-on-arretait-d-enfouir-les-pales-d-eoliennes.N807845>

L'Usine Nouvelle, « 64 % d'électricité renouvelable dans le monde en 2050, selon Bloomberg », juin 2018, <https://www.usinenouvelle.com/article/68-d-electricite-renouvelable-dans-le-monde-en-2050-selon-bloomberg.N712264>

Viapl, « L'éolien industriel, ses mensonges et ses nuisances », août 2018,
<https://viapl.fr/leolien-industriel-ses-mensonges-et-ses-nuisances/>

* Videos et conférences

AEE, Publicité, En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées, 1974,
<http://www.culturepub.fr/videos/agence-pour-les-economies-d-energie-on-n-a-pas-de-petrole/>

BORNE Elisabeth, Public Sénat du 19 février 2020,
<https://www.youtube.com/watch?v=GBXfkxGggLo>

Envoyé Spécial : Éoliennes, le vent de la révolte, 20 septembre 2018,
<https://www.youtube.com/watch?v=epOpSPEgEfA>

GRAS, Alain, Le socio-système énergétique, https://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii_le_mirail/le_socio_systeme_energetique_alain_gras.12496

JANCOVICI, Jean-Marc, L'Éolien, c'est génial, 20 mars 2013,
<https://www.youtube.com/watch?v=1aCHN6dytVY>

MACRON, Emmanuel, Déclaration officielle publique à Pau le 14 janvier 2020,
<https://www.youtube.com/watch?v=5bSASytRH1A>

MAZZUCCHI, Nicolas, L'énergie, mythes et réalités géopolitiques et stratégiques
<https://www.youtube.com/watch?v=cZtFxySq2mE>

MEYNIER-MILLEFERT Marjolaine, Intervention au 21^e colloque annuel du SER, février 2020,
<https://www.youtube.com/watch?v=v0TQhkKg2VU>

MOORE Michael, Planet of the Humans, <https://www.youtube.com/watch?v=Zk11vl-7czE&feature=youtu.be>

NADAI Alain, Politique éolienne, politique du paysage, Ecole Nationale Supérieure du Paysage, 4 avril 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=9wO6Jam5b2o>

Sénat, Commission, Empreinte environnementale du numérique : « La sobriété, ce n'est pas le retour au goulag », <https://www.publicsenat.fr/article/parlementaire/empreinte-environnementale-du-numerique-la-sobriete-ce-n-est-pas-le-retour-au>

Thinkerview, Jean-Marc Jancovici, Anticiper l'effondrement, 14/12/2017,
<https://www.youtube.com/watch?v=Fp6aJZQldFs>

Thinkerview, Philippe Bihouix, Le mensonge de la croissance verte, [11/01/2018,](https://www.youtube.com/watch?v=Bx9S8gvNkKkA)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bx9S8gvNkKkA>

Thinkerview, Jean-Marc Jancovici et Philippe Bihouix, Croissance et effondrement, 12/02/2019, <https://www.youtube.com/watch?v=NQkjhugvekI>

Les décodeurs : les éoliennes peuvent-elles être dangereuses pour la santé ?
<https://www.youtube.com/watch?v=VYjTXuA1IJ8>

YAMAZI, Rachid, Conférence « les batteries lithium : un traité de paix face à la guerre énergétique », EGE, 24 février 2020, <https://www.aege.fr/agenda/les-batteries-lithium-traite-de-paix-face-a-la-guerre-energetique-222>

*** Sondages d'opinion**

Baromètre Les Français et l'environnement vague 6, ADEME, décembre 2019, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-barometre-environnement-air-energie-vague6-2019.pdf>

Sondage BVA pour Orano, « Les Français et le nucléaire », avril 2019, <https://www.bva-group.com/sondages/francais-nucleaire-sondage-bva-orano/>

Sondage Harris Interactive pour France Energie Eolienne, « L'énergie éolienne », septembre 2018, https://harris-interactive.fr/opinion_polls/lenergie-eolienne-comment-les-francais-et-les-riverains-de-parcs-eoliens-la-percoivent-ils/

Sondage BVA, Observatoire Foncia, « Les Français et l'énergie », mars 2018, <https://www.bva-group.com/sondages/les-francais-et-lenergie/>

Sondage IFOP pour France Energie Eolienne, « L'éolien en question », avril 2016, <https://www.ifop.com/publication/leolien-en-question-etude-dopinion-aupres-des-riverains-de-parcs-eoliens-des-elus-et-du-grand-public/>

Sondage CSA pour France Energie Eolienne, mars 2015, https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/04/CSA-pour-FEE_Rapport-10042015.pdf

Sondage BVA pour le Parisien, Les Français et le nucléaire, septembre 2013, <https://www.leparisien.fr/environnement/53-des-francais-favorables-a-une-sortie-progressive-du-nucleaire-26-09-2013-3171731.php>

*** Centres de ressources**

Bibliothèque Publique d'Information

Centre de ressources du développement durable (CRDD), ministère de la Transition écologique, crdd@developpement-durable.gouv.fr

Le centre de ressources documentaires sur l'énergie, le climat et la prévention des risques (CRDECPR), crdecpr.sg@developpement-durable.gouv.fr

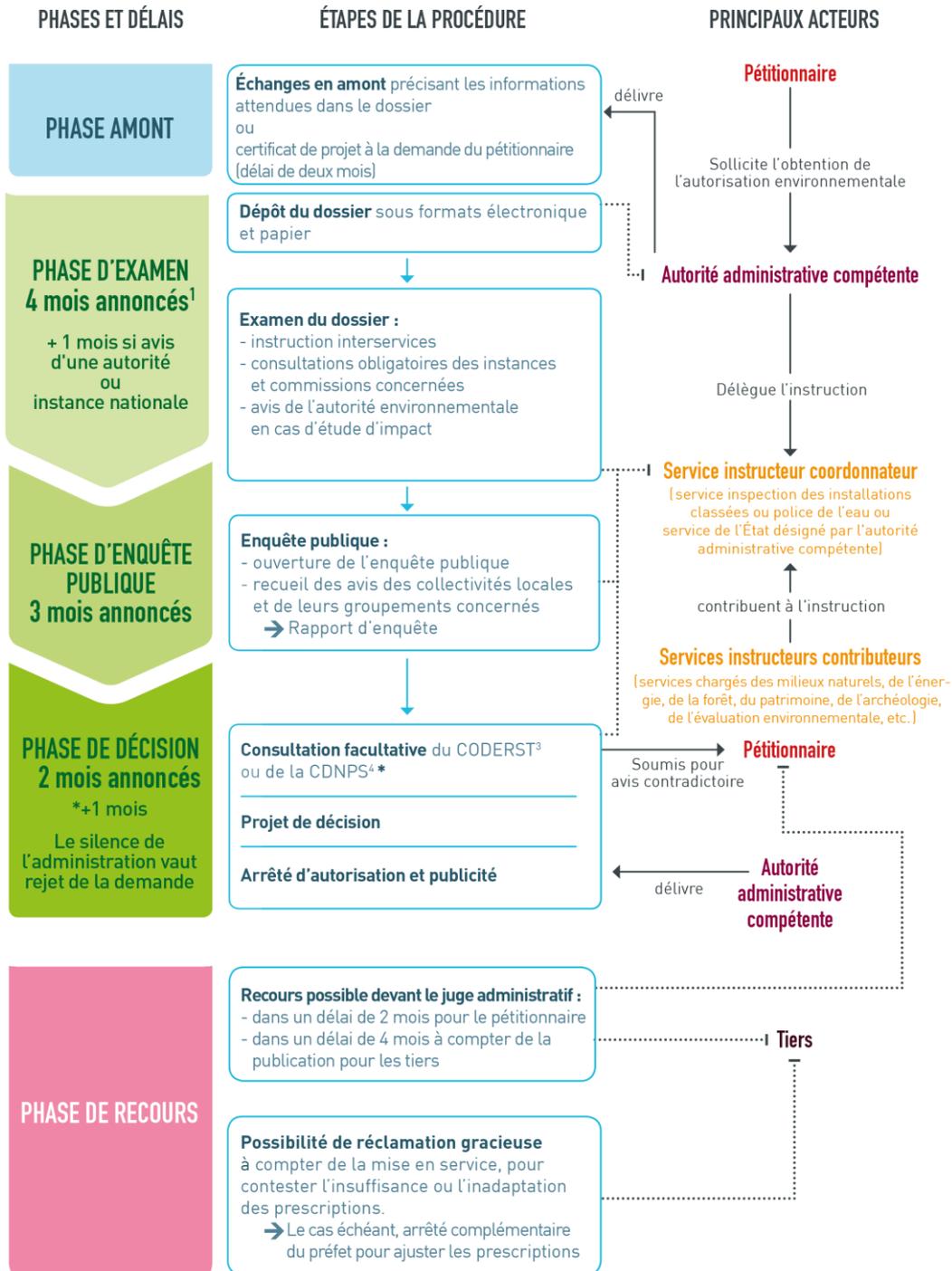
Médiathèque d'Issy-les-Moulineaux

Réseau des Bibliothèques de Versailles

ANNEXES

Annexe 1 : Les étapes du développement d'un projet éolien

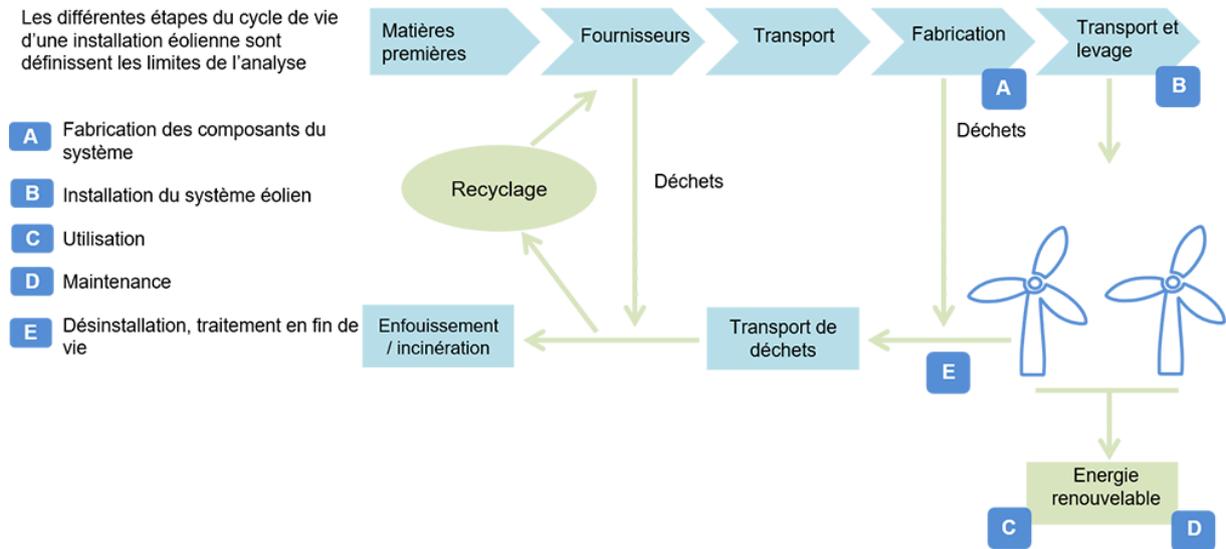
LES ÉTAPES ET LES ACTEURS DE LA PROCÉDURE



1. Ces délais peuvent être suspendus, arrêtés ou prorogés : délai suspendu en cas de demande de compléments ; possibilité de rejet de la demande si dossier irrecevable ou incomplet ; possibilité de proroger le délai par avis motivé du préfet. 2. CNPN : Conseil national de la protection de la nature. 3. CODERST : Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques. 4. CDNPS : Commission départementale de la nature, des paysages et des sites.

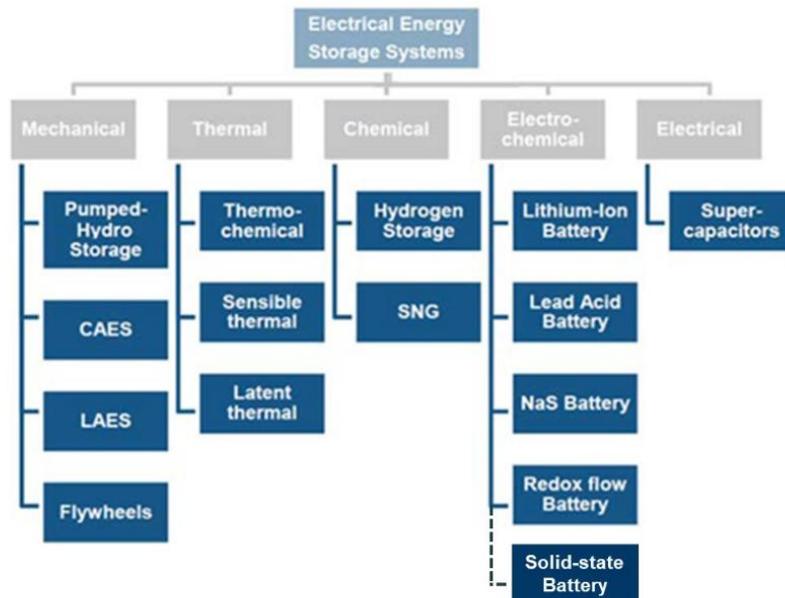
DICOM-SPES/PLA/16269 - Janvier 2017 - Crédits photos : page 1 : Thierry Degen [cours d'eau x2], Arnaud Bouissou/Terra (éolienne), page 2 : Aurélien Miralles, page 3 : Arnaud Bouissou/Terra, Laurent Mignaux/Terra

Annexe 2 : Les étapes du cycle de vie d'une installation éolienne



Source : ADEME

Annexe 3 : Principales technologies de stockage de l'électricité



Principales technologies de stockage de l'électricité. Source : CGE d'après Conseil mondial de l'énergie, 2017 (CAES : Compressed Air Energy Storage ; LAES : Liquid Air Energy Storage ; SNG : Synthetic Natural Gas).

ÉTUDES DE CAS À L'INTERNATIONAL

Sommaire :

Annexe 4 : Allemagne

Annexe 5 : Chine

Annexe 6 : Danemark

Annexe 7 : Espagne

Annexe 8 : États-Unis

Annexe 9 : Royaume-Uni

Annexe 4 : Allemagne



RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D' ALLEMAGNE

Capitale : Berlin

Superficie : 357 386 km²

Population : 83 millions (2019)

Nombre d'éoliennes en service : 29 456 (2019)

Puissance éolienne cumulée installée 60, 84 GW (1^{er} rang européen)

Production d'électricité d'origine éolienne : 126,4 TWh (2019) – dont 24,6 TWh en off-shore

Prix de l'électricité : 0,3 €/kWh

Leaders économiques de la filière :

L'Allemagne compte parmi les premiers producteurs d'éoliennes en occupant 3 des 11 premières places du classement mondial :

- N° 4 : Siemens
- N° 6 Enercon
- N° 11 : Nordex

Ce bon positionnement se confirme sur le marché de l'éolien off-shore où Siemens domine 80 % international.

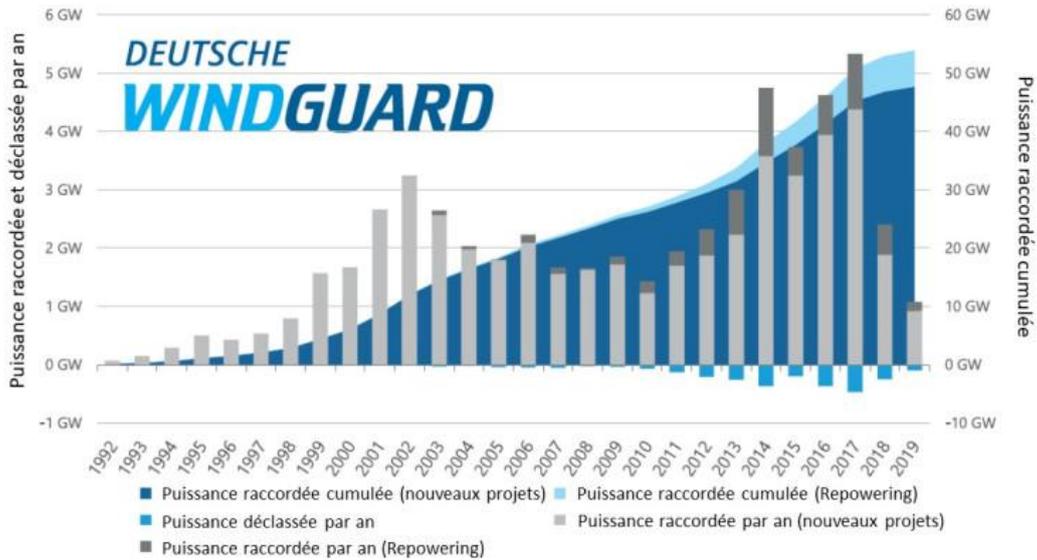
Ambitions :

En mars 2011, suite à la catastrophe nucléaire de Fukushima au Japon, de nombreux pays reprennent conscience des risques liés au nucléaire et décident d'en limiter l'usage. C'est notamment le cas de l'Allemagne qui décide à partir de ce moment de sortir de cette énergie et de basculer sur une plus grande proportion d'énergies renouvelables, et prévoit de faire de l'éolien, à la fois terrestre et off-shore, le fer de lance de cette transition.

Rappel historique

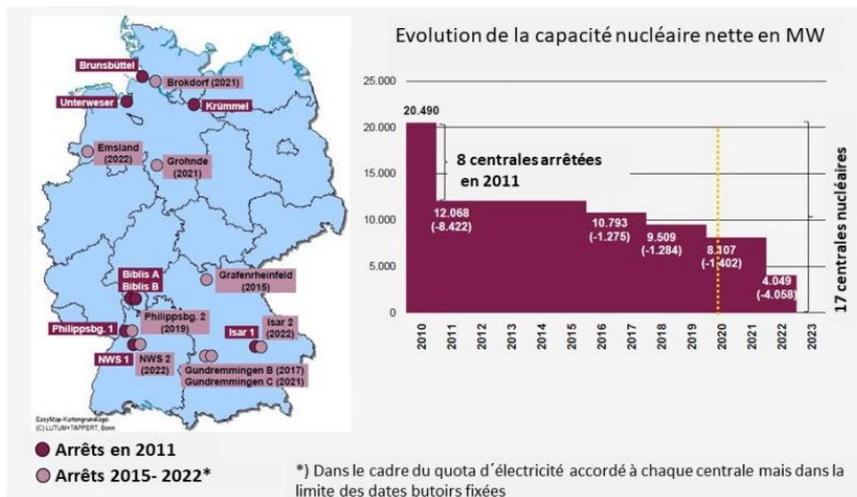
L'Allemagne, grande puissance économique, fait face à des besoins énergétiques conséquents. De la même façon que la France, elle se lance dans l'énergie nucléaire dans les années 60, mais, face aux risques et aux débats qu'ils engendrent, cherche assez vite des alternatives.

Face à la pollution du charbon qui reste une source importante de sa production, et notamment le phénomène des pluies acides, elle se lance dans les éoliennes dès les années 80, d'abord expérimentalement puis de manière plus industrielle au cours des années 90 avec une augmentation constante du nombre de nouveaux projets au cours de la décennie : de 0 % en 1990, la part de l'éolien dans la production électrique allemande passe à 1,6 % une décennie plus tard. La croissance s'accélère au cours des années 2000 et atteint les 6 % en 2010.



Évolution des projets éoliens en Allemagne

L'éolien connaît à partir de ce moment un pic de déploiement : qu'il s'agisse du déploiement de nouvelles machines ou de la modification d'installations existantes, sa proportion dans le mix allemand passe de 8,3 % en 2013 à 21,6 % en 2019, répartie entre trois quarts d'éolien terrestre et un quart d'éolien en mer. Cette forte augmentation, corrélée à l'augmentation des autres sources d'énergies renouvelables notamment le solaire et la biomasse, a vocation à compenser à la fois la sortie assez brusque du nucléaire et celle plus progressive du charbon qui a par ailleurs été légèrement augmentée en 2012/2013 pour palier au délai de mise en place des solutions alternatives à l'atome.

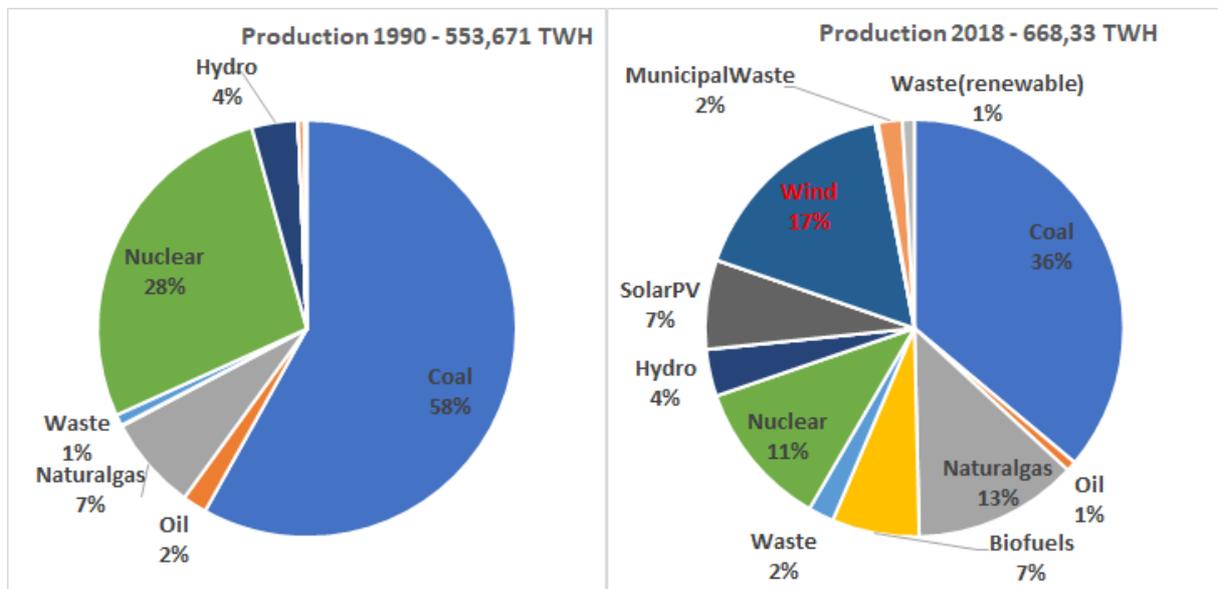


Mix énergétique

La consommation électrique finale de l'Allemagne s'élève à 574,1 TWH en 2018. Cette consommation a à peine augmenté de 8 % en 30 ans.

La production électrique allemande s'élève à 668,3 TWH en 2018. En 30 ans, la teneur en carbone du mix allemand a réduit de 22 %, mais surtout la part du nucléaire a été divisée par plus de 2 et l'éolien est apparu avec une part de 17 %.

Évolution du mix énergétique allemand de 1990 à 2018



Existe-t-il une polémique ?

De la même manière qu'en France, le déploiement de parcs éoliens ne se fait pas sans levée de boucliers de la part de la population. Les mêmes arguments de pollution du paysage et d'impacts environnementaux et écologiques ont été avancés par les riverains des plus de 24 750 aérogénérateurs terrestres (2015) présents outre-Rhin. De la même façon que dans l'hexagone, ces protestations ont pu bloquer une partie des projets. Mais seules, elles ne peuvent expliquer la chute drastique des nouveaux projets.

La grande cause de la perte de vitesse des éoliennes allemandes est à chercher du côté du gouvernement lui-même, pourtant son grand promoteur.

Mécanisme de soutien :

Afin de promouvoir les énergies renouvelables, celui-ci avait promulgué en 2000 une loi spécifique, l'EEG, créant un tarif dédié aux ENR, les subventionnant ainsi et apportant un élan au développement des éoliennes. On peut observer son impact dans les années qui suivirent la promulgation dans le graphique des projets éoliens. Cependant Berlin est revenu sur sa position en 2016 en préparant l'amendement de ce dispositif. Qu'ils aient agi pour réduire le coût de ces mesures d'encadrement tarifaire ou par ignorance de la réalité du marché et le pensant mûr, les dirigeants allemands ont ouvert le marché des énergies renouvelables aux appels d'offres. Le projet de loi de 2016 prévoyait également explicitement la limitation du développement de l'éolien terrestre dans certaines régions.

Bilan de la filière éolienne allemande :

La fin de cet appui de l'état a eu de graves conséquences sur les projets éoliens qui se sont donc effondrés dès l'année suivant la promulgation. En conséquence, les entreprises qui reposaient sur le marché allemand de l'éolien ont vu leur activité se réduire voir complètement disparaître, et un chiffre de 26 000 emplois perdus a été avancé. À ce jour c'est donc une industrie moribonde qui portent le secteur éolien en Allemagne. Berlin a annoncé fin 2019 un plan climat pour appuyer les collectivités souhaitant se doter d'éoliennes et appuyer une relance de cette industrie, mais a également limité les emplacements où elles pouvaient être positionnées. Des messages contradictoires dont l'impact reste à déterminer compte tenu de la crise de la COVID-19 de début 2020 qui n'aura sûrement pas été sans conséquence sur les projets qui auraient pu redémarrer le développement de l'éolien outre-Rhin.

Sources

<https://allemagne-energies.com/sortie-du-nucleaire/>
<https://allemagne-energies.com/2020/02/11/bilan-2019-de-leolien-en-allemande/>
https://www.lemonde.fr/climat/article/2019/02/01/en-allemande-la-sortie-rapide-du-nucleaire-freine-la-reduction-des-emissions_5417589_1652612.html
<https://www.greenpeace.fr/la-sortie-du-nucleaire-en-allemande-a-t-elle-ete-compensee-par-une-hausse-de-la-production-de-charbon/>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Energiewende>
https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne_en_Allemagne
<https://les-smartgrids.fr/eolien-allemand-crise-subvention/>
<https://allemagne-energies.com/2020/02/11/bilan-2019-de-leolien-en-allemande/>
<https://www.mines-stetienne.fr/panoramines/2019/10/29/allemande-eolien-crise/>
<https://www.planete-energies.com/fr/medias/sagas-des-energies/l-histoire-de-l-energie-en-allemande>
<https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/les-eoliennes-semblent-la-zizanie-en-allemande-1133759>
<https://energie-fr-de.eu/fr/systemes-marches/actualites/lecteur/memo-sur-les-points-cles-de-la-reforme-de-la-loi-allemande-sur-les-energies-renouvelables-la-loi-eeeg-2016.html>
<https://www.lejsl.com/france-monde/2019/09/20/climat-sous-pression-de-la-rue-berlin-sort-un-plan-a-100-milliards>
<https://www.ladepeche.fr/2020/01/19/allemande-le-gouvernement-pourrait-payer-les-habitants-vivant-pres-des-eoliennes,8671820.php>
<https://www.la-croix.com/Economie/Monde/paix-sociale-gouvernement-allemand-reglemente-distances-entre-eoliennes-2019-12-22-1201068027>
<https://www.lemondedelenergie.com/energiewende-allemande-desastre-energie/2019/12/06/>

Annexe 5 : Chine



RÉPUBLIQUE POPULAIRE DE CHINE

Capitale : Pékin

Superficie : 9 596 960 km²

Population : 1 439 086 millions (2020)

Puissance éolienne cumulée installée : 211,39 GW (1^{er} rang mondial) dont 4,58 GW offshore en 2018 (GWEC Global Report 2018)

Production d'électricité d'origine éolienne : 366 TWh, soit 5,2 % de l'électricité produite dans le pays en 2018.

Nombre d'éoliennes en service : 70 491 en 2018

Prix de l'électricité : 0,038 €/kWh en 2020. À partir de 2021, le prix de l'électricité produite par l'éolien baissera encore pour égaler le prix de l'électricité produite par les centrales à charbon. Le gouvernement estime que le secteur éolien est devenu mature et ne doit plus être subventionné.

Leaders économiques de la filière :

En 2013, la Chine est devenue le premier fabricant mondial d'éoliennes. Sur les 10 fabricants mondiaux d'éoliennes, cinq sont chinois. Le leader est le groupe Goldwind. En 2015, il était classé numéro 1 mondial avec l'installation de près de 7,8 GW de turbines dans le monde, alors que l'année précédente, il n'était qu'au 4^e rang mondial.

Les autres fabricants chinois du Top 10 mondiaux sont Guodian United Power (7^e), Mingyang (8^e), Envision (9^e), et CSIC (Chongqing) Haizhuang Windpower Equipment (10^e)

Ambitions

En octobre 2011, le gouvernement chinois a annoncé des objectifs de développement très ambitieux : l'éolien devrait couvrir 17 % des besoins en électricité en 2050, ce qui suppose, compte tenu de l'augmentation très rapide de ces besoins, d'atteindre 1 000 GW de capacité éolienne en 2050, soit plus de cinq fois le total mondial de 2010. Des cibles intermédiaires de 200 GW en 2020 et 400 GW en 2030 ont été fixées. La Chine compte exploiter seulement l'éolien terrestre jusqu'en 2020, puis se lancer progressivement en mer, d'abord posé (jusqu'en 2030), puis flottant.

L'objectif de l'administration nationale de l'énergie (NEA) avancé dans le 13^e plan quinquennal était de viser pour 2020 une puissance cumulée de 210 GW (dont 5 GW en mer) et une production de 420 TWh, soit 6 % de la production d'électricité du pays.

Rappel historique

L'exploitation des éoliennes à grande échelle pour produire de l'électricité est récente en Chine. En effet, les premières éoliennes industrielles sont apparues durant les années 1980 dans le cadre de l'électrification des zones rurales. Leur nombre était de 3000 éoliennes de capacité allant de 100 W à 20 KW. Jusqu'en 2000, les éoliennes ne permettaient de produire qu'environ 344 MW, même si le 9e plan avait fixé l'objectif de 1000 MW.

En 2004, le gouvernement chinois a souhaité encourager la production d'électricité d'origine éolienne en annonçant sa volonté d'atteindre un objectif de 20 GW pour l'année 2020. Pour soutenir ce programme, il a mis en place en 2005 suite à la ratification du protocole de Kyoto, une loi en faveur des énergies renouvelables, ainsi qu'un fonds de financement des « 'projets verts »'.

Tous ces efforts du gouvernement ont donné leurs fruits. L'année 2010 a connu un pic en matière de construction de parcs éoliens pour une production d'électricité d'une capacité record de 18 928 MW, suite à l'engagement des compagnies électriques. Les fabricants chinois d'éoliennes se sont alors développés et sont entrés dans le TOP 10 des constructeurs mondiaux.

Le développement de l'éolien en Chine s'est poursuivi et cette forme d'énergie renouvelable prend toute sa place parmi les autres sources d'énergies, rattrapant et dépassant même la part du nucléaire dans le mix énergétique, qui a été lancé bien avant l'éolien pour la production de l'électricité en Chine.

(100 millions kW h)

Item	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Total Energy Available for Consumption	6230	10023	13473	24941	41936	58021	61298	64821
Output	6212	10077	13556	25003	42072	58146	61425	64951
Hydropower	1267	1906	2224	3970	7222	11303	11934	11898
Thermal Power	4945	8043	11142	20473	33319	42842	44371	46627
Nuclear Power		128	167	531	739	1708	2133	2481
Wind Power					446	1858	2371	2950
Imports	19	6	15	50	55	62	62	64
Exports (-)	1	60	99	112	191	187	189	195

Mix énergétique disponible à la consommation (Source : *China Statistical Yearbook 2019*)

Mix énergétique actuel

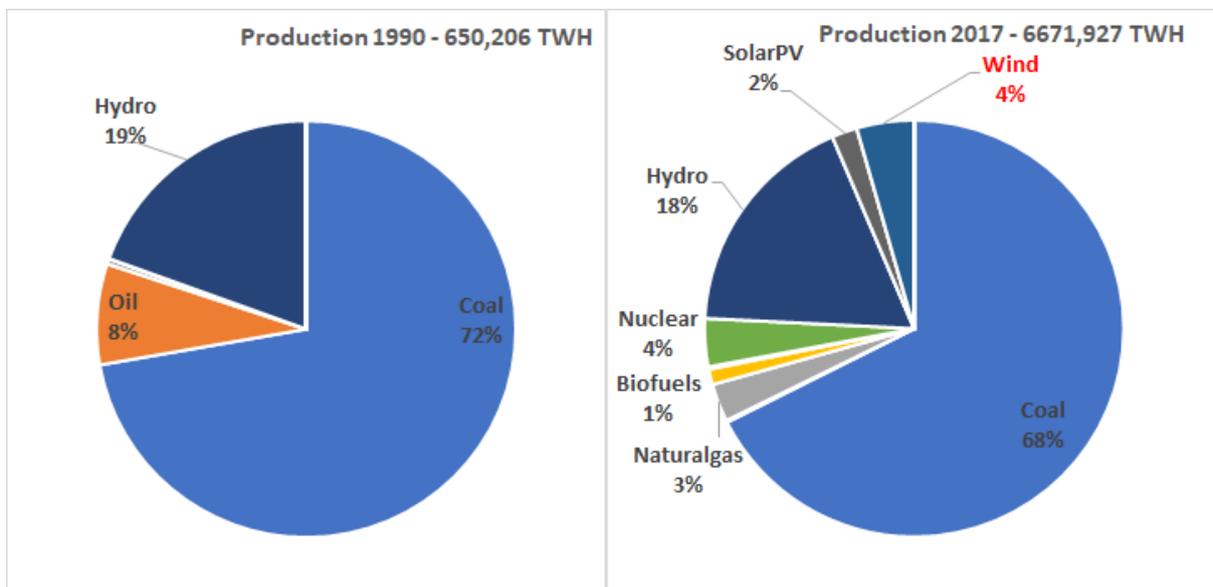
À fin novembre 2019, la production électrique en Chine a atteint 6 479,6 TWh augmentant de 3,4 % par rapport à la même période de 2018. Ce taux de progression a été pour l'énergie éolienne de 11,3 % avec 363,8 TWh, représentant ainsi la deuxième plus grande hausse après le nucléaire (18,8 %).

En 2019, l'éolien représente 5,6 % dans le mix énergétique de la Chine dans la production de l'électricité. Il est à l'avant-dernière position, avant le nucléaire, dans le mix énergétique chinois. L'énergie principale reste de loin le thermique avec presque 72 % du mix, l'énergie hydraulique représentant 16,7 %.

Monthly Statistics of China Power Industry (Jan-Nov, 2019)					
		Nov		Jan to Nov	
			Year-on-Year Change (±, %)		Year-on-Year Change 2018 (±, %, pp)
Electricity Generation	TWh	589.0	4.0	6479.6	3.4
---- Hydro	TWh	82.0	-6.4	1082.6	5.4
---- Thermal	TWh	432.5	4.4	4652.2	1.6
---- Nuclear	TWh	32.5	14.9	315.1	18.8
---- Wind	TWh	38.8	27.2	363.8	11.3

Évolution du mix énergétique chinois

En 30 ans, la consommation électrique chinoise a été multipliée par plus de 10 passant de 477,7 TWh à 5 581 TWh. Pour couvrir cette demande électrique, la Chine a également multiplié par 10 sa production. En 30 ans, le poids du charbon a peu évolué passant de 72 % à 68 %, mais la production est passée de 469 TWh à 4 508 TWh. Même constat pour l'hydraulique dont le poids n'a quasiment pas évolué, mais la production a été multipliée par 10. Par contre, le pétrole a laissé sa place aux EnR et au nucléaire.



Entre 2010 et 2018, toutes les sources de production d'électricité, aussi variées soient-elles, ont connu des augmentations importantes. La plus forte progression est celle enregistrée par l'éolien passant de 44,6 TWh en 2010 à 366 TWh en 2018.

À l'exception des sources de production thermiques d'électricité, le gouvernement chinois a toujours soutenu l'essor des nouvelles sources d'énergies renouvelables pour la production d'électricité, dont en tête l'hydroélectricité.

TWh	Total	Th. charbon	Th. pétrole	Th. gaz	Nucléaire	Hydro	Éolien	Solaire	Géoth. Bio
2010	4207.2	3139.2	14.9	77.7	73.9	711.4	44.6	0.7	24.9
2011	4713.0	3695.4	12.1	108.8	86.4	688.0	70.3	2.6	27.7
2012	4987.6	3755.8	10.9	110.3	97.4	862.8	96.0	3.6	30.5
2013	5431.6	4074.2	10.0	116.4	111.6	909.6	141.2	8.4	37.5
2014	5649.3	4070.9	9.5	133.3	132.5	1051.1	156.1	23.5	46.4
2015	5814.6	4042.5	9.7	166.9	170.8	1114.5	185.8	43.6	54.1
2016	6132.2	4164.6	10.4	188.3	213.3	1153.3	237.1	61.7	62.1
2017	6604.5	4445.5	10.7	202.8	248.1	1165.1	295.0	117.8	79.6
2018	7111.8	4732.4	10.7	223.6	294.4	1202.4	366.0	177.5	90.7

Production d'électricité (Source : BP Statistical Review)

En effet, la Chine a utilisé jusqu'en 2018 le système des obligations et tarifs d'achat pour stimuler le développement des énergies renouvelables. Elle compte passer en 2019 aux méthodes fondées sur le marché en organisant ses premiers appels d'offres.

En mai 2019, le gouvernement annonce qu'à partir du 1^{er} janvier 2021 les prix garantis pour l'électricité éolienne terrestre ne pourront plus excéder ceux de l'électricité produite par les centrales à charbon. Le gouvernement estime alors que le secteur éolien est devenu assez mature pour pouvoir se développer sans subventions. La National Development and Reform Commission (NDRC) a fixé les prix pour les projets éoliens terrestres à 0,29 yuan (0,038 €) par kWh en 2020. La NDRC a publié une liste de projets éoliens approuvés sans subventions pour un total de 5,71 GW. Selon Wood Mackenzie Power and Renewables, cette nouvelle politique va inciter les développeurs à installer autant de turbines que possible en 2020, soit environ 28 GW, et en 2021 le marché devrait se contracter de 23 %. Les analystes de Wood Mackenzie doutent que les développeurs parviennent à atteindre la parité avec le charbon avant 2023 et risquent de subir de sérieuses difficultés financières.

Ce ralentissement du développement de l'éolien a pour origine les contraintes liées à l'exploitation de l'électricité produite par cette forme d'énergie, se rapportant principalement à sa localisation et les conséquences de son intermittence. Ce qui complique l'intégration de l'électricité d'origine éolienne dans des réseaux qui se retrouvent perturbés par son intermittence, ce qui se traduit par des chutes de tensions, des variations de voltage ainsi que des accidents de tout genre.

C'est pourquoi, les pouvoirs publics chinois font tout pour limiter le développement de l'éolien. Ainsi, la construction d'éoliennes terrestres ne sera plus autorisée dans certaines régions. Les subventions des prix de rachat de l'électricité d'origine éolienne seront réduites voire supprimées pour l'éolien terrestre.

Bilan de la filière éolienne en Chine

Après le sérieux coup de frein donné au développement éolien en 2018 et 2019, la Chine ira-t-elle beaucoup plus loin que les 200 GW programmés pour 2020 ? Sans même s'attarder sur les anticipations d'une Chine uniquement alimentée par des éoliennes, les 400-800 GW retenus par l'AIE dans ses scénarios sont-ils encore de mise ?

À ce jour, aucun moyen n'a permis de compenser correctement les difficultés liées à l'intermittence et à la localisation de l'éolien. Ces obstacles peuvent-ils être abaissés ? Plusieurs voies sont prospectées. Celle de l'utilisation in situ de l'électricité éolienne, sans passage par le réseau, attendu du développement économique des provinces du Nord-Ouest restera vraisemblablement marginale. Celle d'un rééquilibrage entre l'éolien onshore et l'éolien offshore plus proche des fortes concentrations de la demande d'électricité du sud-est paraît plus prometteuse : d'ici 2020, 3,7 GW pourraient être construits dans le Zhejiang, 7 GW dans le Shandong et 10 GW dans le Jiangsu. Aucun de ces développements ne pourra cependant remplacer une interconnexion complète du réseau électrique autour de grandes lignes en ultra-haut voltage, soit de 800 à 1 000 kV tant en courant alternatif que continu.

Existe-t-il une polémique ?

Avec le soutien du gouvernement chinois, l'énergie éolienne a été adoptée par la population et a permis son développement et l'essor de fabricants de matériel de renommée mondiale.

Cette forme d'énergie a bien pris sa place parmi les autres énergies renouvelables pour la décarbonation du système de production d'électricité, à côté du solaire et du nucléaire.

Il n'existe donc pas de polémique autour de cette forme d'énergie, mais son développement s'est trouvé limité en raison des contraintes techniques de son exploitation.

Les conditions du succès de la filière et mécanisme de soutien

- Forte volonté politique de la Chine de décarboner son système de production d'électricité et réduire sa dépendance en matière d'approvisionnement en gaz et en pétrole pour ses sources d'énergie thermiques alimentées par ces deux combustibles
- L'aggravation des pollutions liées à la forte croissance de l'industrie charbonnière, et la forte mortalité minière de moins en moins acceptables par la population.
- Mise en place de la loi en faveur des sources d'énergie renouvelables, prévoyant un fond pour financer les « projets verts » ainsi que des incitations du mécanisme de développement propre suite au protocole de Kyoto

Sources :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Chine>

<https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>

<https://www.eurobserv-er.org/pdf/euroobserver-wind-barometer-2020-en/>

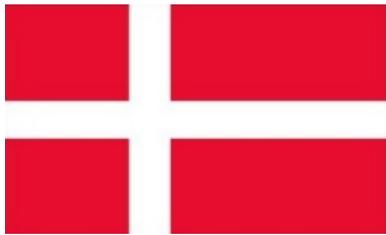
<http://www.eurobserv-er.org/pdf/wind-energy-barometer-2016-fr-observer/>

<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexh.htm>

<https://english.cec.org.cn/detail/index.html?1-805>

https://www.encyclopedie-energie.org/energie-chine-xi-jinping/#_ftn10

Annexe 6 : Danemark



ROYAUME DU
DANEMARK

Capitale : Copenhague

Superficie : 42 925 km²

Population : 5,8 millions d'habitants

Puissance éolienne cumulée installée : 6,1 GW (7^e rang européen) dont 1,7 GW offshore

Production d'électricité d'origine éolienne : 16,1 TWh dont 6,2 TWh offshore en 2019, soit 48 % de l'électricité produite, pour 40 % de couverture de l'électricité consommée

Nombre d'éoliennes en service : 6 251 dont 558 offshore

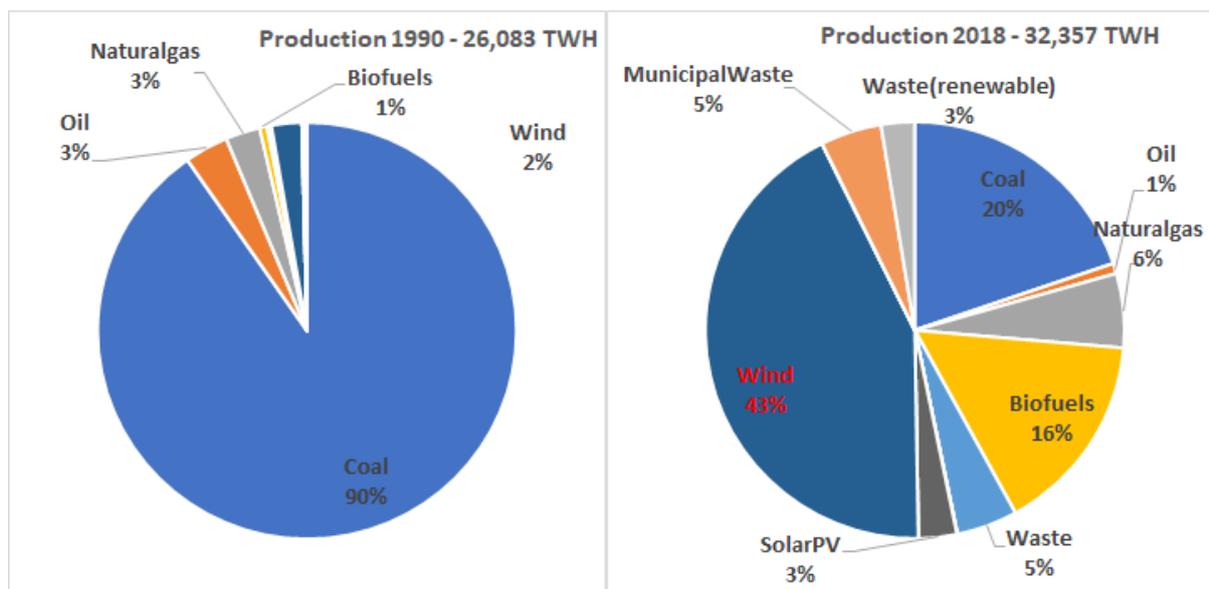
Prix de l'électricité : 0,298 4 €/kWh (le plus élevé d'Europe après l'Allemagne)

Leaders économiques de la filière : Vestas, n° 1 mondial, et Orsted

Ambitions : porter à 100 % la part d'électricité verte d'ici à 2030 et ramener à zéro ses émissions nettes de GES en 2050. Le gouvernement prévoit d'étendre le potentiel de l'éolien offshore via la création d'îles artificielles avec l'objectif d'augmenter la puissance offshore à 10 GW d'ici 2030. Le plan danois, annoncé en décembre 2019, prévoit des investissements de l'ordre de 200 à 300 milliards de couronnes danoises (27-40 milliards d'euros). Selon le ministère de l'Énergie et du Climat, ce plan serait principalement financé par des investisseurs privés.

Rappel historique

- Le Danemark est l'un des berceaux de l'énergie éolienne, Poul la Cour (1846-1908), étant considéré comme le grand pionnier des éoliennes modernes.
- Au XX^e siècle, les centrales électriques danoises fonctionnent au charbon, qui sera supplanté par le pétrole dans les années 60. Ainsi, en 1972, 80 % de l'électricité est produite à partir du pétrole et 20 % à partir du charbon.
- Après les chocs pétroliers des années 1970, le Danemark réoriente sa production d'énergie vers les centrales à charbon, ce qui en fera l'un des pays les plus pollueurs de l'Union Européenne.
- À la fin des années 90, le Danemark réoriente sa politique énergétique vers les énergies renouvelables



Mix énergétique actuel

En 2016, la consommation d'énergie primaire du Danemark était encore satisfaite à près de 65 % par les énergies fossiles, mais la part de ces dernières a été sensiblement réduite au cours de la dernière décennie (87 % en 2006). Dans le même temps, la part des énergies renouvelables a doublé en 10 ans (16,3 % en 2006 à 32,6 % en 2016). La part des énergies primaires a été ramenée de 82 % en 2005 à 60 % en 2017. Le pays ne dispose par ailleurs pas de parc nucléaire.

La production électrique éolienne couvre 48 % de la demande électrique danoise.

Bilan de la filière éolienne danoise

Le bilan de cette filière semble très positif, puisqu'en 2019, l'énergie éolienne a couvert 47 % de la consommation d'électricité du pays, selon Energinet, le gestionnaire du réseau danois. Celui-ci figure de surcroît au 3^e rang des réseaux les plus stables d'Europe. Cette performance est rendue possible grâce à un système de STEP situées en Norvège et en Suède. En revanche, les ménages danois sont, avec les Allemands, les consommateurs particuliers payant le plus cher leur électricité au sein de l'Union européenne en raison du très haut niveau des taxes (plus de 65 % du prix final, contre environ 35 % en France selon Eurostat).

Existe-t-il une polémique ?

La polémique est très rare au Danemark en raison de l'implication active de la population dans le développement des éoliennes. Elle est surtout activée par les pêcheurs, mais ils ont été dédommagés en conséquence.

Les conditions du succès de la filière et mécanisme de soutien

- Pionnier de l'énergie éolienne au début des années 1980, puis de l'éolien offshore dès 1991, avec l'installation du premier parc éolien en mer Vindeby, comportant 11 éoliennes.
- Le pays dispose de 7000 km de côtes
- Une forte incitation à l'implication des citoyens dans le développement de l'énergie éolienne a très nettement favorisé l'acceptabilité des éoliennes au Danemark. Chaque Danois peut devenir « actionnaire » d'une éolienne, par exemple par le biais d'une coopérative.

- Politique de dissociation de la croissance économique et de la consommation d'énergie : depuis 1980, la consommation d'énergie est restée globalement stable, tandis que l'activité économique du pays a pratiquement doublé.
- Continuité du soutien de la part de l'Etat pour cette forme d'énergie, par le biais de subventions, puis de bonification tarifaire.

Sources :

https://read.oecd-ilibrary.org/environment/examens-environnementaux-de-l-ocde-danemark-2019-version-abreegee_1bef0e90-fr#page27

https://www.oecd-ilibrary.org/fr/energy/energy-policies-of-iaea-countries-denmark-2017_9789264287594-en

Puissance cumulée et production : <https://www.eurobserv-er.org/barometre-eolien-2020/>

<https://www.electricitymap.org/zone/DK->

[DK1?wind=false&solar=false&page=country&countryCode=ES&remote=true](https://www.electricitymap.org/zone/DK-?wind=false&solar=false&page=country&countryCode=ES&remote=true)

<https://www.connaissancedesenergies.org/le-danemark-bon-eleve-de-la-transition-energetique-171129>

Prix de l'électricité : [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr)

[explained/index.php?title=Electricity price statistics/fr](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr)

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne_au_Danemark

<https://www.deutschland.de/fr/topic/environnement/au-danemark-lenergie-eolienne-est-un-modele-de-reussite>

<https://www.lemondedelenergie.com/transition-energetique-danemark-tunisie-afrique-asie/2018/12/17/>

Demande : <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>

Annexe 7 : Espagne



ROYAUME D' ESPAGNE

Capitale : Madrid

Superficie : 505 911 km²

Population : 46,94 millions (2019)

Nombre d'éoliennes en service : 22 940 sur 1 203 fermes en 2018

Puissance éolienne cumulée installée : 25,2 GW (2^e rang européen) dont 0 GW offshore en 2019

Production d'électricité d'origine éolienne : 54,2 TWh dont 0 TWh offshore en 2019, soit 19 % de l'électricité produite dans le pays

Prix de l'électricité : 0,240 3 de €/kWh

Leaders économiques de la filière :

L'Espagne comptait 2 fabricants majeurs d'éoliennes : Gamesa (leader espagnol, Usines en Espagne, en Chine, en Inde et au Brésil) racheté par Siemens, Acciona Windpower (usines en Espagne, aux USA et au Brésil) racheté par Nordex, Alstom-Ecotècnia Eco80 et un acteur majeur de la distribution d'électricité éolienne ; Iberdrola Renovables.

Ambitions :

L'Espagne souhaite faire évoluer son mix énergétique aujourd'hui encore basé à 39 % sur les énergies fossiles et 20 % sur le nucléaire. Pour atteindre cet objectif, le pays a misé sur l'électrification pour décarboner 100 % de son économie d'ici 2050. La « Loi de changement climatique et transition énergétique » (LCCTE) de 2018 a fixé des objectifs ambitieux pour le pays : 35 % de l'énergie finale du pays devra provenir des ENR dont 70 % pour l'électricité d'ici 2030 et 100 % d'ici 2040. La loi interdit également la valorisation de nouveaux gisements fossiles, l'exploration et la fracturation hydraulique. En 2050, c'est 100 % de l'énergie finale espagnole qui devra être renouvelable.

Rappel historique

Historiquement, l'Espagne souffre de sa pauvreté en ressources énergétiques ce qui explique son entrée tardive dans la révolution industrielle grâce au charbon venu du Royaume Uni. Le pays a subi plusieurs crises énergétiques liées aux différentes guerres (mondiales et civiles) ainsi qu'aux embargos des alliées pendant la dictature de Franco. À la fin des années 60 et durant les années 70, pour soutenir le développement économique, le pays commence à exploiter des mines nationales de lignite et de charbon. L'Espagne se lance également dans le nucléaire dès 1969. Néanmoins le programme nucléaire espagnol est interrompu dans les années 80 à la suite de la catastrophe de Tchernobyl et le pays se tourne vers le gaz naturel en provenance de l'Algérie et du Maroc. Fin des années 90, début des années 2000, l'Espagne se tourne vers les énergies renouvelables l'éolien en tête suivi du solaire et de la biomasse. En 2010, la part du renouvelable dans le mix électrique atteint 35 %. La crise et l'arrivée au gouvernement de Mariano Rajoy vont stopper net le développement des EnR et décision sera prise en 2013 de geler les investissements dans le domaine pour 5 ans. À partir

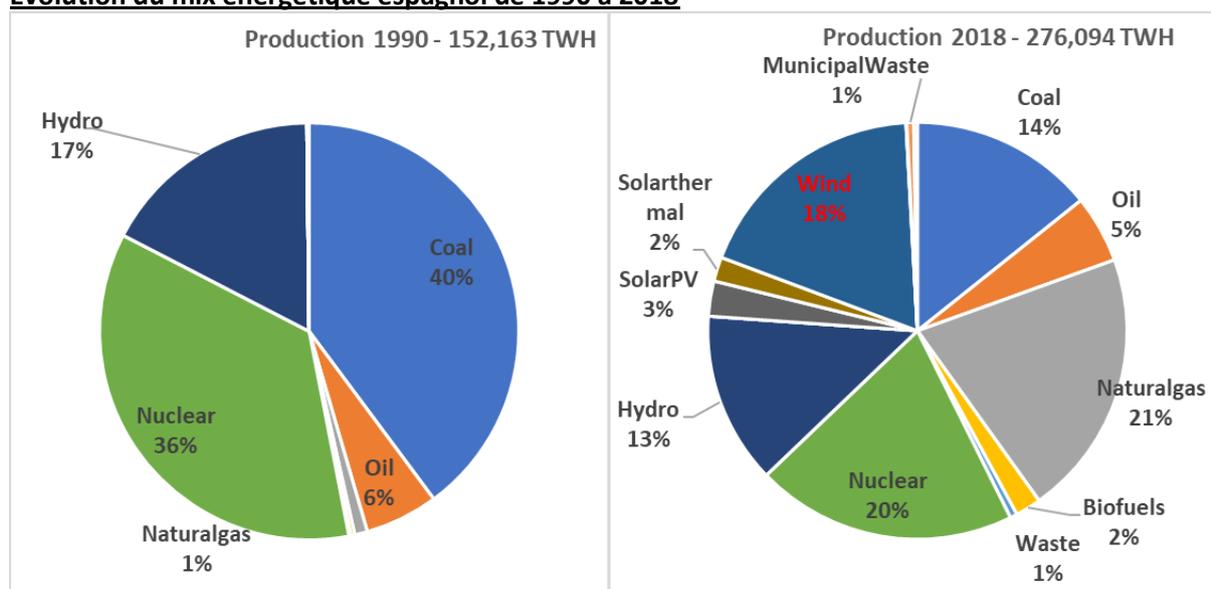
de 2017, les autorités ibériques décident de relancer la filière et annoncent un nouveau plan de soutien financier aux énergies renouvelables. En 2018, la nouvelle loi LCCTE redonne de l'élan au développement des énergies renouvelables espagnoles.

Mix énergétique actuel

La consommation électrique finale de l'Espagne s'élève à 257TWH en 2018. Cette consommation a quasiment été multipliée par 2 en 30 ans tirée par le développement industriel, l'essor commercial et des services et la hausse de la demande du secteur résidentiel.

Pour couvrir l'explosion de sa demande électrique, l'Espagne a développé sa production électrique de 80 % depuis 1990 pour atteindre 276 TW en 2018. Pour porter cette croissance, le pays s'est appuyé le développement du gaz naturel et de l'éolien et une augmentation de l'hydraulique. Dans le même temps, la production liée au carbone a été réduite de 35 %. Aujourd'hui le mix électrique contient 21 % de gaz naturel (56 TW) et 37 % d'ENR dont 18 % d'éolien (51 TW).

Évolution du mix énergétique espagnol de 1990 à 2018



Bilan de la filière éolienne espagnole :

Le marché de l'éolien ibérique représente, en 2019, 3 584 M€ et 24 000 emplois directs.

Avec 207 centres de fabrication et une chaîne de valeur très complète, l'Espagne est l'un des principaux exportateurs mondiaux de technologies éoliennes avec 2 181 M€ d'exportation.

L'Espagne est le sixième pays au monde et le troisième en Europe en matière de brevets éoliens ; 89,22 millions d'euros sont investis chaque année en R&D.

Existe-t-il une polémique ?

La plateforme EPAW (European Platform Against WinfFarms) qui recense les associations européennes anti-éoliennes, n'enregistraient que 25 membres espagnols en 2017 et parmi ces membres, nombreux ne sont plus actifs. Ainsi la controverse autour des éoliennes ne semble pas très virulente en Espagne. On peut noter tout de même des attaques provenant d'associations écologistes et de protection de l'environnement dénonçant les méfaits sur la faune et la flore et la détérioration des paysages. Les premiers projets d'ampleurs ont été nombreux à s'implanter sur les lignes de crêtes des montagnes avec un impact visuel très marqué et souvent à proximité de zones protégées reconnues pour leur beauté et destinations touristiques (Catalogne, Andalousie) ce qui a déclenché la colère des communautés locales et de nombreuses batailles juridiques. Par la suite les projets descendant dans les plaines, les contestations se sont faites moins nombreuses.

Les conditions du succès de la filière et le mécanisme de soutien

- Une géographie et des vents très propices à l'éolien
- L'industrie éolienne espagnole dispose d'une large base technologique, industrielle, d'innovation et commerciale,
- L'existence en Espagne de l'ensemble de la chaîne de valeur éolienne permet de minimiser le besoin d'importations.
- Le secteur éolien espagnol s'est imposé comme l'un des leaders technologiques mondiaux.
- Le cadre légal et financier, malgré 5 ans de pause avec le gouvernement Rajoy, est très favorable aux investissements dans la filière renouvelable
- Le développement d'infrastructures d'approvisionnement et d'accès aux installations
- L'implantation de parcs éoliens est considérée comme une opportunité de croissance économique par la population de certaines zones rurales reculées.

Sources :

<https://www.eurobserv-er.org/online-database/#>

<https://www.iea.org/countries/united-kingdom>

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr

<https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana>

<https://www.energias-renovables.com/eolica/la-industria-eolica-espanola-es-la-tercera-20190726>

<https://journals.openedition.org/rives/4965>

Annexe 8 : États-Unis



ÉTATS-UNIS

Capitale : Washington

Superficie : 9 834 millions km²

Population : 328,2 millions (2019)

Nombre d'éoliennes en service : Environ 60 000 réparties sur 41 états et 2 territoires en 2019

Puissance éolienne cumulée installée : 105,5 GW (2^e rang mondial) dont 26 GW offshore en 2019

Production d'électricité d'origine éolienne : 300,1 TWh dont 0 TWh offshore en 2019, soit 7,29 % de l'électricité produite dans le pays

Prix de l'électricité : 0,12 €/kWh

Leaders économiques de la filière : GE Renewable Energy 3^e acteur mondial avec plus de 40 000 éoliennes installées dans plus de 35 pays pour une capacité totale de 62 GW.

Ambitions :

En 2008, le département américain de l'Énergie avait publié le rapport « 20 % d'ici 2030 » qui fixait comme ambition de porter à 20 % la part de l'électricité d'origine éolienne d'ici 2030. Le rapport Wind de 2015 du ministère de l'Énergie avait fixé une nouvelle étape à cette ambition avec 35 % à l'horizon 2050.

L'arrivée du Donald Trump au pouvoir, synonyme pour certains du retour au « tout charbon », aurait pu donner d'un coup d'arrêt à la transition énergétique américaine. D'ailleurs les premières prises de position du nouveau président, ont confirmé ces craintes avec la sortie des accords de Paris notamment. Pourtant, même si le pays ne s'est pas doté de nouvelles ambitions nationales en la matière, le développement des EnR se poursuit et les experts prévoient un doublement de la part des ENR d'ici 2030 soit un poids 30 % dans le mix énergétique. En effet certains états, malgré l'absence de position fédérale favorable, se sont fixé des objectifs en la matière dont parmi eux, la Californie qui s'engage à atteindre 100 % d'électricité renouvelable à l'horizon 2045.

Rappel historique

Les éoliennes font partie depuis longtemps des paysages américains, les colons les utilisaient déjà pour moulin à grain, pomper l'eau et couper du bois dans les scieries. La première entreprise éolienne américaine « Halladay Windmill Company » a été fondée en 1850 dans le Connecticut à Ellington, puis ce fut la compagnie « US Wind Engine and Pump Company » dans l'Illinois à côté de Chicago en 1857. À la suite du premier choc pétrolier, la popularité des éoliennes s'est accrue et le deuxième choc a vu naître les premières réglementations en faveur des énergies renouvelables. Les premières fermes éoliennes voient le jour en Californie en 1980. En 1992, le Energy Policy Act favorise la commercialisation des énergies renouvelables grâce entre autres à la mise en place de crédits d'impôt « Renewable Electricity Production Tax Credit » (PTC). Ce crédit d'impôt a été prolongé à plusieurs reprises jusqu'en 2015 et devrait expirer définitivement fin 2020.

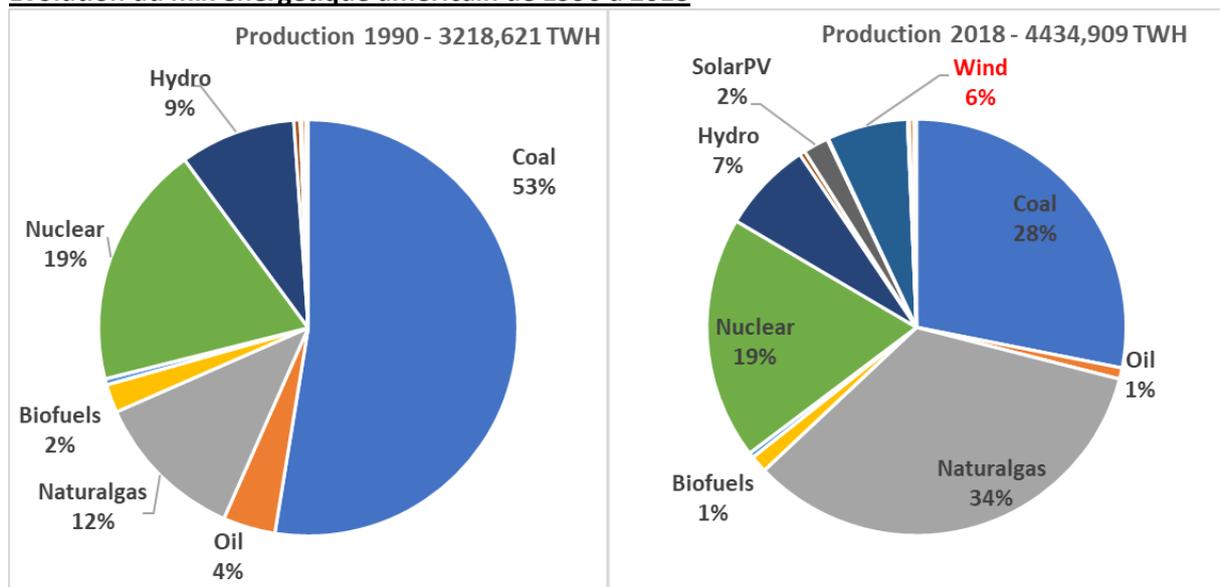
Mix énergétique actuel

Au global, les États-Unis produisent la totalité de l'énergie qu'ils consomment. Ils sont aujourd'hui énergétiquement indépendants grâce à leurs ressources de gaz naturel et à leur pétrole de schiste.

La consommation électrique finale du pays s'élève à 4 235 TWH en 2018 en hausse de 45 % par rapport à 1990. Cette croissance est portée par le développement de la demande liée aux secteurs commercial, des services publics et résidentiel. Dans le même temps la demande liée au secteur industriel a reculé de 11 %.

Pour répondre à la hausse de sa consommation électrique, les USA se sont appuyés sur leurs ressources en gaz naturel et ont multiplié par 5 en 30 ans leur production électrique à partir du gaz. Avec 16 % du mix électrique, la part des énergies renouvelables est encore faible. Ainsi, bien que 2^e producteur mondial d'électricité éolienne derrière la Chine, avec 278 TWH, l'éolien n'y représente que 7,3 %. Avec un poids de 65 %, les énergies fossiles sont encore très largement majoritaires dans le mix énergétique nord-américain.

Évolution du mix énergétique américain de 1990 à 2018



Bilan de la filière éolienne étatsunienne :

En 2019, la filière éolienne nord-américaine emploie plus de 12 000 personnes, regroupe 530 usines nationales et génère 1,6 milliard de dollars de revenus pour les États et les communautés qui hébergent des parcs éoliens. Cette même année, 208 Milliards de \$ ont été investis dans les installations en exploitation et 14 Milliards dans de nouveaux projets. Le Texas et l'Iowa sont les 2 états leaders du domaine avec une capacité installée respective de 29,4 GW et 10,6 GW.

Existe-t-il une polémique ?

Le premier des détracteurs des éoliennes n'est ni plus ni moins que le président Donald Trump. En effet, celui-ci n'hésite pas à les attaquer sur Twitter et durant ses discours les rendant responsables de cancers dus aux bruits des pales, de black-out électriques, de la dépréciation des propriétés et de la dégradation des paysages.

Néanmoins l'énergie éolienne semble en majorité plutôt bien acceptée par les Américains y compris dans les états les plus conservateurs comme le Texas. Une étude récente auprès des riverains de parcs éoliens, a révélé que 75 % des personnes interrogées habitant à moins d'un demi-mile d'une éolienne avaient un avis positif ou neutre à leur égard.

L'essentiel de la controverse porte sur le bruit et l'esthétique des aérogénérateurs faisant naître une confrontation entre les détracteurs éoliens et les défenseurs du droit à disposer de ses biens comme bon lui semble qui voient dans l'implantation d'une éolienne l'opportunité de gains financiers.

Les conditions du succès de la filière et mécanisme de soutien

Malgré une absence de soutien fédéral et la fin annoncée des crédits d'impôt (PTC) accordés en 2015, l'énergie éolienne américaine semble avoir de beaux jours devant elle. En effet avec 105 GWh de capacité installée en 2020, l'énergie éolienne est la première énergie renouvelable du pays, un succès lié à :

- Une tradition ancienne de l'utilisation du vent et une bonne acceptation des populations
- Un fort potentiel géographique et des vents très favorables
- Une très forte demande électrique
- La création de nombreux emplois bien rémunérés grâce à la filière éolienne
- Une volonté grandissante des grands acteurs économiques de s'engager dans la transition énergétique verte. Les GAFAs et autres multinationales américaines, grosses consommatrices d'électricité, voulant offrir une image d'acteurs économiques responsables œuvrant pour le développement durable, sont devenus au fil des années de fervents défenseurs des énergies renouvelables et sont aujourd'hui les premiers acheteurs de l'électricité éolienne.

Sources :

<https://www.eurobserv-er.org/online-database/#>

https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_the_United_States

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=USA&energy=Electricity&year=2018>

<https://www.awea.org/wind-101/basics-of-wind-energy/wind-facts-at-a-glance#:~:text=There%20are%20now%20nearly%2060%2C000,renewable%20energy%20in%20the%20country.>

https://www.awea.org/Awea/media/Resources/Publications%20and%20Reports/Wind_Powers_American_Business.pdf

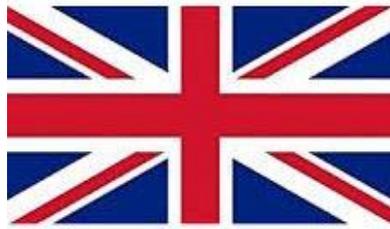
Prix de l'électricité : <https://www.eia.gov/electricity/>

<https://www.connaissancedesenergies.org/lelectricite-aux-etats-unis-en-chiffres-180405>

<https://www.nytimes.com/2019/04/03/climate/fact-check-trump-windmills.html>

<https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2020/02/16/wind-energy-can-help-american-farmers-earn-money-avoid-bankruptcy/4695670002/>

Annexe 9 : Royaume-Uni



ROYAUME-UNI

Capitale : Londres

Superficie : 242 495 km²

Population : 66,65 millions (2019)

Nombre d'éoliennes en service : 10 790 dont 2 184 offshore en 2020

Puissance éolienne cumulée installée : 23,93 GW (3^e rang européen et 6^e rang mondial) dont 9,78 GW offshore (1^{er} rang mondial) en 2019

Production d'électricité d'origine éolienne : 57,1 TWh dont 25,1 TWh offshore en 2018, soit 16,6 % de l'électricité produite dans le royaume

Prix de l'électricité : 0,211 2 de €/kWh

Leaders économiques de la filière :

Le Royaume-Uni ne produit quasiment plus de rotors. 4 marques. Le marché britannique est dominé par 4 marques étrangères : Siemens, Vestas, Repower et Samsung. Siemens est le leader de la filière Offshore avec 70 % des turbines implantées sur le territoire britannique.

Ambitions :

Avec un mix énergétique basé sur les énergies fossiles, le pays a longtemps été parmi les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre du monde. Depuis 2010 d'énormes progrès sur les émissions de GES sont réalisés et en 2019, la production d'énergie zéro carbone dépasse celle des énergies fossiles avec 47 % de l'électricité produite. Cette même année, l'engagement est pris de la neutralité carbone pour 2050 via les renouvelables (solaire, éolien et hydraulique) et l'atome. Le gouvernement s'engage également à ce que l'éolien offshore représente un tiers de la production électrique d'ici 2030.

Le Royaume-Uni veut rester le premier marché européen de l'éolien offshore. Pour y parvenir, le gouvernement déploie une politique de soutien financier à la filière et lance plusieurs projets d'une capacité combinée de 7 GW. Pour Boris Johnson, l'éolien offshore est un relais de croissance face au déclin des activités pétrolières de la mer du nord et à la baisse du prix du Brent.

Rappel historique

Riche de nombreuses mines, le Royaume-Uni a vu naître la révolution industrielle et son histoire a été fortement marquée par le charbon. Depuis 1950, le mix anglais connaît de grandes évolutions. Après plusieurs initiatives dans le nucléaire, dans les années 60, le pays se tourne vers l'exploitation de ses ressources de gaz et de pétrole de la mer du nord. Dans les années 90, la production énergétique à base de pétrole et de gaz est à son maximum et le charbon commence à perdre du terrain.

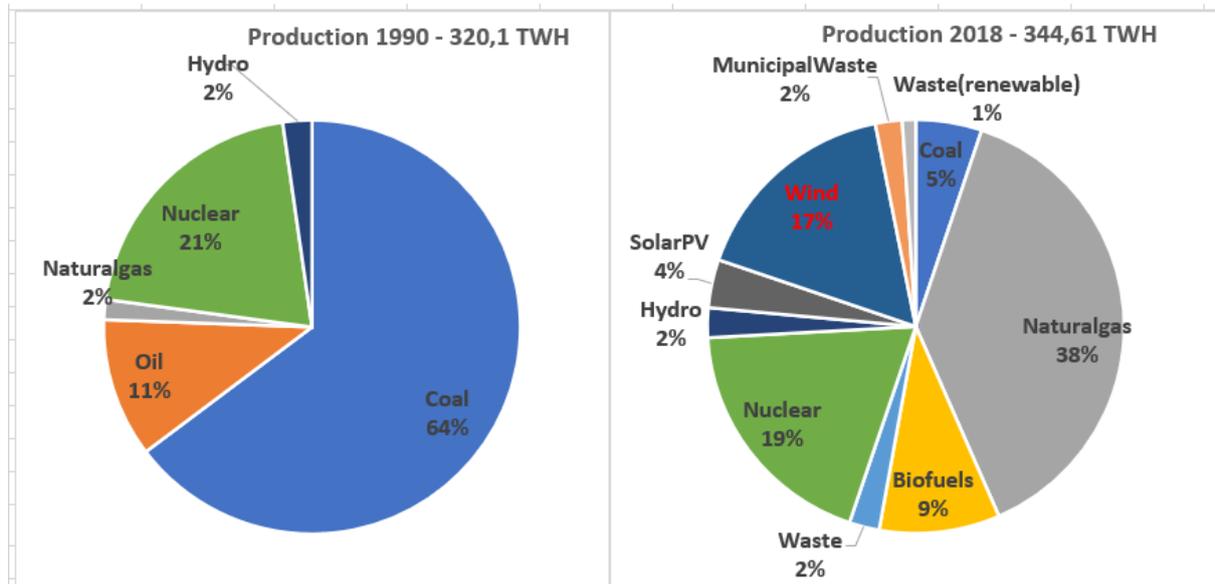
Au début des années 2000, face au déclin annoncé de ses ressources fossiles, le Royaume-Uni se tourne à nouveau vers le nucléaire en construisant 8 centrales et se lance dans les énergies renouvelables notamment dans l'éolien offshore.

Mix énergétique actuel

La production électrique anglaise s'élevait à 344,6 TWH en 2018 soit une augmentation de 7,7 % par rapport à 1990. En 30 ans, le pays est passé d'un mix à 75 % carboné à 50 % en 2018 en divisant par 8 le poids du charbon et en faisant émerger des énergies totalement absentes du mix en 1990. Les énergies renouvelables représentent en 2018, 26 % du mix dont 17 % pour l'éolien seul.

Évolution du mix énergétique anglais de 1990 à 2018

La consommation électrique finale du Royaume-Uni s'élève à 326TWH en 2018 en hausse de 6,5 % par rapport à 1990, mais en baisse régulière depuis 2005 liée à la baisse de la consommation du



secteur industriel et aux économies dans le secteur résidentiel.

Le réseau britannique est interconnecté avec la France, la Belgique, l'Irlande et les Pays-Bas pour une capacité totale de 5 TW. Les échanges internationaux représentent 15 TW importés et 10 TW exportés, un déficit de 5 TW compensé par des prix de vente britanniques en moyenne plus élevés que les prix d'achat.

La production électrique éolienne couvre 22 % de la demande électrique britannique en 2019 (source WindEurope)

Bilan de la filière éolienne britannique :

Le marché de l'éolien Outre-Manche représente, en 2018, 8 751 M€ et 82 800 emplois directs dont 13 700 dans le domaine offshore.

Les avancées britanniques dans le domaine éolien offshore ont entraîné une forte baisse des coûts de production de 187 € en 2011 à 45 €, coût de raccordement au réseau compris. À l'horizon 2023, les prix de l'éolien marins pourraient descendre en dessous de ceux des centrales à gaz.

Existe-t-il une polémique ?

Une enquête de 2015 a montré que les Britanniques soutenaient à 68 % le développement éolien et que les réels opposants aux parcs éoliens terrestres n'étaient que 10 %. Néanmoins les mouvements anti-éoliens sont nombreux au Royaume-Uni. En effet, la plateforme EPAW (European Platform Against WinfFarms) comptent parmi ses membres 121 associations britanniques anti-éoliennes constituées pour la plupart d'associations locales voisines des parcs éoliens. Les sujets de mécontentement sont équivalents à ceux qui existent en France : dégradation du paysage, impacts sur la faune, problèmes sanitaires.

Les critiques concernant les surcoûts liés à l'injection de la production électrique éolienne dans le réseau électrique National Grid et la mise en place nécessaire d'un pilotage affiné sont également nombreuses.

La Renewable energy foundation (REF), malgré sa vocation pour le renouvelable, dénonce un système scandaleux qui rémunère des exploitants pour ne pas produire. Relayés dans les médias, ces faits ont trouvé un certain retentissement auprès du grand public peu amateur des systèmes de compensation. Certains détracteurs dénoncent également une régularité suspecte dans le choix des exploitations bénéficiant des compensations financières liées aux demandes d'arrêt de production.

Les conditions du succès de la filière et le mécanisme de soutien

- Longtemps symbole du développement par le charbon, le Royaume-Uni est un modèle en matière de transition énergétique et en 20 ans est devenu une référence mondiale des énergies marines renouvelables et le leader incontesté de l'éolien en mer avec 8 483 MW installés en 2019.
- Le Royaume-Uni est doté de 12 500 Km de côtes et détient le deuxième gisement éolien maritime d'Europe.
- Grâce à des années d'expérience dans le domaine du pétrole offshore, le pays possède de grandes compétences dans la conception de projets éoliens offshore, la conception technique et la fourniture de câbles interréseau et de sous-stations offshore.
- Depuis 2014, des prix minimums sont garantis pour chaque source renouvelable d'électricité par des contrats de différence (CfD) d'une durée de 15 ans. Le gouvernement s'est engagé à lancer des enchères régulières de contrats de différence avec un financement total de 557 millions de livres sterling afin d'atteindre jusqu'à 30 GW de capacité éolienne offshore. En contrepartie, l'industrie s'est engagée à investir 250 millions de livres sterling dans le cadre de l'Offshore Wind Growth Partnership (OWGP). Un engagement bilatéral qui, selon le gouvernement, devrait permettre une baisse continue des coûts, une réduction de la facture électrique et un développement de l'industrie britannique d'ici 2030.
- Le Royaume-Uni a également su faire évoluer son réseau électrique et faire évoluer son économie vers une version moins carbonée.

Ce pays semble avoir su mettre en place une politique énergétique pragmatique afin de préserver son indépendance énergétique et prendre en compte les contraintes de l'urgence climatique.

Sources :

<https://www.eurobserv-er.org/online-database/#>

<https://www.iea.org/countries/united-kingdom>

https://www.thewindpower.net/country_en_8_united-kingdom.php

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms_in_the_United_Kingdom

http://epaw.org/organisation.php?lang=fr&country=United_Kingdom

https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/lescoeur_politique_energetique_ru_2017.pdf

<https://www.greenunivers.com/2019/03/au-royaume-uni-les-ecretements-eoliens-font-fureur-199045/>

Prix électricité https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr

Demande: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>