



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



ACADÉMIE
DES BEAUX-ARTS
INSTITUT DE FRANCE



ACADÉMIE DES SCIENCES
MORALES ET POLITIQUES
INSTITUT DE FRANCE

QUELLE PLACE POUR LES ÉOLIENNES DANS LE MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS ?

Février 2022

*Le point de vue des Académies des sciences, des beaux-arts
et des sciences morales et politiques de l'Institut de France.*



Sommaire

Résumé exécutif	p. 3
Recommandations	p. 5
Avis commun : Quelle place pour les éoliennes dans le mix énergétique français ? ..	p. 7
État des lieux de production et réalité des enjeux énergétiques, économiques et géopolitiques	p. 8
Défiguration du paysage et impact à long terme sur les territoires	p. 9
Impacts potentiels des centrales électriques éoliennes sur la biodiversité	p. 10
Composition et recyclage des matériaux	p. 10
Un avenir pour les centrales électriques éoliennes ?	p. 11
Conclusion	p. 12
Annexes	p. 13
Annexe 1- Contribution de l'Académie des sciences	p. 13
1-A : « Les éoliennes face au défi énergétique français »	p. 13
1-B : « Impact des éoliennes sur la biodiversité »	p. 17
<i>Cette annexe est rédigée par les membres du GT Interacadémique appartenant à l'Académie des sciences et soumise à l'approbation de celle-ci.</i>	
Annexe 2- Contribution de l'Académie des beaux-arts	p. 19
L'impact des éoliennes sur le paysage	p. 19
<i>Cette annexe est rédigée par les membres du GT Interacadémique appartenant à l'Académie des beaux-arts et soumise à l'approbation de celle-ci</i>	
Personnes auditionnées	p. 22
Composition du groupe de travail	p. 24

L'urgence climatique impose de remplacer rapidement le recours aux combustibles fossiles, fortement émetteurs de gaz à effet de serre, par d'autres modes de production d'énergie. Même dans un contexte de sobriété énergétique, la décarbonation des transports et de la production de chaleur nécessitera de faire une place bien plus grande à une électricité bas-carbone dans la consommation énergétique totale. Ainsi, l'objectif de neutralité carbone fixé à l'horizon 2050 impose le recours à des sources d'énergie renouvelables et au nucléaire dans des proportions qu'il convient de définir sans *a priori* idéologique mais en parfaite cohérence avec le contexte énergétique de chaque pays, ses stratégies industrielles et ses contraintes géographiques, économiques, sociales et écologiques. **Le questionnement actuel sur la place des éoliennes dans le mix électrique français a conduit les Académies des sciences, des beaux-arts et des sciences morales et politiques de l'Institut de France à croiser leurs appréciations dans l'objectif d'établir un état des lieux et de formuler des recommandations.**

La France produit une électricité décarbonée à 92%, assurée majoritairement par le nucléaire (71%), l'hydroélectricité (11%) et, dans une moindre mesure, par l'éolien (6%) et le photovoltaïque (2%). Cette production nationale est insuffisante dès que les températures hivernales sont basses et, sans vent, la France ne peut alors assurer ses besoins qu'en important de l'électricité provenant de sources fossiles.

La production d'électricité éolienne et photovoltaïque se caractérise par une intermittence qui, dans l'état actuel des capacités de stockage de l'électricité, empêche de s'affranchir des combustibles fossiles. Ces derniers, quand ils sont importés, pèsent sur la balance commerciale du pays et alourdissent sa dépendance énergétique.

L'implantation d'éoliennes terrestres et littorales se heurte à des résistances de plus en plus grandes du fait des nuisances qu'elles occasionnent : bruits, dénaturation et défiguration des paysages, perte de valeur patrimoniale des biens immobiliers ou d'attrait touristique des régions concernées. Les éoliennes doivent être installées dans des territoires où le vent est en moyenne suffisamment fort pour être efficace et suffisamment constant pour être utilisable. Cela conduit à les construire en nombre et à les concentrer dans certaines régions, indépendamment des besoins énergétiques locaux, accentuant ainsi un sentiment d'injustice territoriale. Ces zones choisies sont le plus souvent également importantes pour la protection de la biodiversité car, moins peuplées, elles abritent des espèces rares et parfois sensibles dans des milieux moins perturbés par les actions humaines.

Pour faire face au changement climatique, l'état actuel des connaissances et des technologies impose la mise en place d'un mix électrique bas-carbone nécessairement complexe, combinant énergies renouvelables et nucléaire. Cette dernière devra continuer d'occuper une part importante du mix énergétique car elle reste la principale source d'électricité décarbonée non intermittente.

Concernant les énergies renouvelables, en plus du potentiel dont dispose toujours le photovoltaïque, les éoliennes offshore, plus susceptibles d'être acceptées par les populations que leurs équivalentes terrestres, offrent des perspectives intéressantes : dotées d'une puissance et d'une disponibilité nettement plus élevées que celles de l'éolien terrestre, elles permettent d'envisager une participation de l'éolien à la hauteur de 25% du mix électrique de 2050. L'optimisation de leur contribution au mix énergétique reste cependant conditionnée par des innovations et des investissements importants dans le domaine du stockage de l'énergie et du recyclage de leurs matériaux ainsi que par la démonstration qu'elles ne perturbent pas profondément la biodiversité des milieux où elles sont déployées.

Recommandations

1. Prévoir le déploiement de l'éolien dans un mix énergétique complexe offrant toujours un niveau élevé de source non intermittente bas carbone afin de faire face aux enjeux climatiques en assurant la sécurité d'approvisionnement du pays : cette double garantie est offerte par les centrales nucléaires aujourd'hui.

Les centrales hydroélectriques sont également non intermittentes (et même hautement pilotables) mais leurs possibilités d'extension sont très limitées en France.

Le maintien d'une proportion élevée d'électricité à partir du nucléaire reste nécessaire, une proportion de 50 à 70 % signifiant la construction d'une à deux centrales par an. Il s'agit d'un défi industriel qui implique notamment une reconstitution rapide des expertises susceptibles d'avoir été perdues depuis la construction des centrales actuellement en activité. Une stratégie industrielle compatible avec cette nécessité devra donc être mise en place.

2. Investir dans le développement du stockage de l'énergie avec des stratégies cohérentes dans le contexte français. Ceci reste une des conditions nécessaires au déploiement des énergies renouvelables intermittentes et notamment de l'éolien offshore.

Du fait des possibilités limitées de multiplication des stations de transfert d'énergie par pompage turbinage (STEP), il est indispensable de développer la recherche sur les batteries, afin d'en réduire le coût financier et environnemental grâce à l'innovation, et de construire des électrolyseurs industriels destinés à la production décarbonée d'hydrogène.

3. Faire précéder tout projet d'implantation d'une consultation des populations locales en respectant une approche centrée sur le respect des paysages et de la biodiversité.

Les nouveaux projets d'implantation de centrales électriques éoliennes doivent nécessairement faire l'objet d'une meilleure concertation avec les populations locales, et notamment avec les riverains, au sujet de leurs conséquences paysagères et de leurs nuisances potentielles.

Seul un plus grand éloignement des éoliennes terrestres et littorales par rapport aux habitations pourrait adoucir le contexte de dégradation du paysage qui met les populations humaines en souffrance. Certaines nuisances pourraient également être amoindries : avec une distance minimale de 1500 m aux habitations (comme c'est le cas dans certains *Länders* allemands), au lieu des 500 m prévus par la réglementation en France, la nuisance sonore serait divisée par neuf. Il s'agira cependant de ne pas réaliser les implantations dans les zones où la biodiversité est encore préservée et pourrait être affectée.

4. Développer les filières permettant d'abaisser l'empreinte environnementale des éoliennes.

La durée de vie d'une éolienne est courte, de l'ordre de 20 ans, et impose un démantèlement ou une remise en état régulière des installations. Pour ce faire, un défi majeur réside

actuellement dans le recyclage des pales. En effet, sans innovation importante dans ce domaine, le démantèlement des parcs français déjà installés (dès les années 2025-30) et de ceux à venir promet des gisements considérables de déchets peu compatibles avec la faible empreinte environnementale annoncée pour les énergies renouvelables.

Le déploiement des parcs éoliens est conditionné par un indispensable soutien à l'innovation des filières industrielles à l'origine de nouveaux matériaux composites pouvant intégrer des circuits de recyclage et de revalorisation à forte valeur économique.

5. Renforcer les études d'impact sur la biodiversité des milieux concernés par le déploiement des éoliennes.

Il est nécessaire d'élaborer des programmes de grande ampleur, faisant appel aux nouvelles méthodes de suivi des déplacements des animaux aériens comme marins afin de mieux comprendre l'impact possible des parcs éoliens, en fonction de leur localisation, de leur envergure et des conditions environnementales.

Une attention particulière devra être apportée aux modifications des courants marins et des mouvements d'air générées par l'implantation de parcs éoliens de grande envergure. Il s'agira en particulier d'en évaluer les répercussions sur la faune et la flore marine, les conséquences sur la pêche et sur les couloirs de migrations d'oiseaux.

Avis commun : Quelle place pour les éoliennes dans le mix énergétique français ?

Depuis les recherches franco-russes pionnières sur l'analyse des glaces polaires et la mise en évidence d'une corrélation entre évolution du climat et teneurs atmosphériques en gaz à effets de serre (GES), les climatologues n'ont cessé d'alerter sur l'importance de l'enjeu du changement climatique. Le récent rapport du GIEC¹ est particulièrement alarmant et il est urgent que les combustibles fossiles-charbon, pétrole et gaz- à l'origine de fortes productions de ces gaz, laissent la place à d'autres modes de production d'énergie dans nos sociétés et permettent d'atteindre l'objectif de neutralité carbone fixé pour 2050.

La volonté de produire une énergie électrique décarbonée impose d'avoir recours à des sources d'énergie renouvelables et au nucléaire dans des proportions qu'il convient de définir sans a priori idéologique mais en parfaite cohérence avec le contexte énergétique de chaque pays, ses stratégies industrielles et ses contraintes géographiques, économiques, sociales ou encore écologiques.

Une préoccupation croissante concernant le traitement des déchets nucléaires ou les risques encourus en cas de catastrophe naturelle, surtout après la catastrophe de Fukushima, a amené l'opinion publique à évoluer en France, au moins dans un premier temps, vers une moins grande acceptabilité du nucléaire, en faveur des énergies renouvelables. L'article 100-4 du code de l'énergie² fixe pour objectif de porter la part des énergies renouvelables à 33 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ; à cette date, pour parvenir à cet objectif, les énergies renouvelables doivent représenter au moins 40 % de la production d'électricité. C'est avec ces contraintes que RTE³ a récemment produit des scénarios⁴ de neutralité carbone à l'horizon 2050 qui vont d'un mix 50% renouvelables et nucléaire à une électricité produite à 100% par des renouvelables. Ils impliquent une multiplication des éoliennes terrestres qui vont d'un doublement à un quadruplement, soit entre 16 000 et 32 000 turbines ; pour les éoliennes en mer ils vont de 44 parcs équivalents à celui qui se construit dans la baie de Saint-Nazaire⁵ à 124 parcs du même type, chaque parc comportant 60 à 80 éoliennes⁶.

Or, l'installation des éoliennes pose des problèmes d'acceptabilité des populations, en mer comme sur terre, et interroge les conditions nécessaires à leur déploiement quant à leurs capacités à prendre une place aussi importante dans le mix énergétique français.

Dans ce contexte, conscientes de l'urgence imposée par la problématique énergétique nationale, les Académies des sciences, des beaux-arts et des sciences morales et politiques de l'Institut de France ont croisé leurs appréciations sur l'état des lieux de la situation et les mesures à recommander.

¹ : GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Voir leur dernier rapport : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

² : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000039369320/

³ : RTE : Réseau de Transport d'Electricité.

⁴ : https://assets.rte-france.com/prod/public/2022-01/BP2050_rapport-complet_chapitre5_scenarios-mix-production-consommation.pdf

⁵ : <https://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr/>

⁶ : Pour l'image, ces éoliennes s'élèvent au-dessus de la mer jusqu'à 176 mètres en bout de pale, soit l'équivalent d'une demi-Tour Eiffel.

État des lieux de production et réalité des enjeux énergétiques, économiques et géopolitiques

Les qualités fondamentales d'une source d'énergie tiennent d'abord à sa fiabilité, sa sécurité d'approvisionnement (en lien avec l'indépendance énergétique du pays) et à son prix.

Les centrales électronucléaires françaises lui permettent de produire la plus grande part (71%) de son électricité avec une source très décarbonée⁷. En ajoutant la production assurée par l'hydroélectricité, l'éolien et le photovoltaïque, l'électricité produite en France est décarbonée à 92%. Cependant, cette production d'électricité ne représente aujourd'hui que 25% de la dépense énergétique totale de la France⁸ et, même dans un éventuel contexte d'incitation forte à la sobriété énergétique, ce taux devra être augmenté afin d'atteindre les objectifs de décarbonation des transports et du chauffage (secteurs actuellement fortement émetteurs de GES).

En cas de fort vent, la quantité d'électricité produite par les éoliennes installées en Europe, notamment en Allemagne et au Danemark, excède les besoins et son prix devient négatif. L'interconnexion entre les pays européens permet à la France de bénéficier alors de cette aubaine. Cependant, si l'électricité produite en France était exclusivement d'origine éolienne, sa production serait en dents de scie avec de fréquentes coupures incompatibles avec une indispensable sécurité globale d'approvisionnement⁹. Ainsi, cette dernière repose encore largement aujourd'hui sur l'électronucléaire, l'hydroélectrique et les combustibles fossiles que l'on ambitionne de ne plus mobiliser dans un proche avenir.

Aussi, dès que la température hivernale avoisine 0°C ou devient négative, conditions rarement associées à du vent en France, les productions d'électricité d'origine nucléaire ou hydroélectrique ne suffisent plus à assurer l'approvisionnement du pays lors des deux pics journaliers de consommation d'électricité (matin et soir). Les centrales à charbon françaises ainsi que les centrales à gaz ou même au pétrole, en France ou ailleurs, doivent alors être mises en marche. Et cela ne suffit pas : la France est, en effet, tributaire des centrales thermiques des pays voisins dont celles de l'Allemagne qui, engagée dans une « sortie rapide du nucléaire », nous fournit alors de l'électricité très carbonée, produite à partir de la combustion de la houille ou du lignite. Car sans vent, l'Allemagne ne peut pas bénéficier de ses importantes centrales électriques éoliennes et, en plus de la houille et du charbon, elle devient de plus en plus dépendante du gaz, ce qui accroît sa dépendance énergétique. De son côté, le Danemark, qui a également opté pour une sortie du nucléaire, dispose d'une production d'électricité d'origine éolienne très supérieure à ses propres besoins en ayant misé sur son exportation. Cependant, lorsqu'il y a beaucoup de vent, les pays voisins, également bien pourvus en éoliennes, assurent leur autosuffisance électrique par ce biais, alors que, en absence de vent, le Danemark doit acheter l'électricité hydroélectrique norvégienne au prix fort.

Le prix de l'électricité est bien évidemment lié à l'origine de sa production¹⁰.

⁷ : Le nucléaire produit en effet environ 40 fois moins de CO₂ que le gaz et 80 fois moins que le charbon, soit 6 à 12 g de CO₂ par kWh pour le nucléaire. Voir Annexe 1-A « Les éoliennes face au défi énergétique français », rédigée par l'Académie des sciences.

⁸ : Les 75% restants (transports, chauffage) sont assurés par des sources fossiles fortement productrices de CO₂. Pour répondre efficacement aux enjeux du changement climatique, il est donc nécessaire de les remplacer par des sources décarbonées.

⁹ : Même si l'abondante production temporaire d'électricité d'origine éolienne (ou même photovoltaïque) peut permettre de remplir des batteries, pomper de l'eau dans des barrages ou être en partie jugulée par l'émergence de technologies smart grids déplaçant la consommation.

¹⁰ : Ainsi, sans vent, de 20 à 40 euros pour le MWh d'origine nucléaire, le prix du MWh d'électricité provenant du gaz a récemment bondi au-delà de 200 euros pour une partie de l'hiver, à la suite de l'accroissement considérable des prix du gaz et des quotas d'émissions de CO₂ (EUAs). Lorsque les centrales à pétrole doivent être mises en marche le prix du MWh est encore plus grand, pouvant varier d'environ 300 à 3000 euros : cela explique que le prix du MWh en hiver en France puisse dépasser 400 euros et ainsi s'éloigner considérablement du prix de l'électricité d'origine nucléaire. <https://www.rte-france.com/eco2mix>

Une analyse détaillée jointe à ce rapport¹¹ montre à l'évidence que l'important déploiement éolien actuellement envisagé ne permettra pas d'assurer les besoins en électricité de la France.

Défiguration du paysage, autres nuisances sur les populations humaines et impact à long terme sur les territoires

Socialement, la présence d'éoliennes terrestres se heurte à des résistances de plus en plus grandes, que ne peuvent plus faire céder les avantages financiers accordés aux propriétaires et aux collectivités locales. Celles-ci sont justifiées par les nuisances sonores et visuelles qu'elles occasionnent. A ce sujet, l'Académie nationale de médecine avait notamment recommandé¹² le respect d'une distance minimale de 1500 mètres par rapport aux habitations, comme c'est le cas dans certains *Länders* allemands (au lieu des 500 mètres actuellement en vigueur dans la législation française) qui permettrait de diviser par neuf les nuisances sonores.

L'implantation des éoliennes conduit, par ailleurs, à une diminution de la valeur patrimoniale des biens immobiliers situés à proximité et à la dénaturation profonde des paysages. Or ceux-ci, constituent justement l'un des principaux attraits touristiques de la France, qui est, faut-il le rappeler, la première destination touristique mondiale avec les forts revenus économiques qui en résultent.

Pour obtenir le permis de construire, les entreprises responsables de l'implantation des éoliennes terrestres et littorales sur une commune sont pourtant tenues de présenter une étude paysagère. Cette dernière n'est qu'un simulacre d'intégration plastique. Par conséquent, il n'est pas étonnant que se développe, chez les populations concernées, le sentiment de vivre dans un territoire sacrifié par une politique autoritaire dont le ressort leur apparaît avant tout idéologique. L'apparition de nombreuses associations de défense du paysage et l'intensité des débats en leur sein témoignent de cette résistance grandissante à l'implantation des éoliennes¹³.

Les opérations de démantèlement sont un sujet de vives préoccupations, particulièrement légitimes pour ces installations très imposantes et de courte durée de vie (de l'ordre de 20 ans¹⁴). L'arrêté du 26 août 2011¹⁵ prévoit une programmation du démantèlement à partir de juillet 2022 mais beaucoup de choses restent à faire pour que le démantèlement des parcs français déjà installés (dès les années 2025-30) et de ceux en projet ne s'accompagnent pas de gisements considérables de déchets (cf. *infra*)¹⁶.

¹¹ : Voir Annexe 1-A « Les éoliennes face au défi énergétique français », rédigée par l'Académie des sciences.

¹² : Voir l'avis de l'Académie nationale de médecine en date du 9 mai 2017 <https://www.academie-medecine.fr/wp-content/uploads/2017/05/Rapport-sur-les-%C3%A9oliennes-M-Tran-ba-huy-version-3-mai-2017.pdf> et son avis précédent : Chouard CH et coll. Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme. Rapport à l'Académie Nationale de Médecine. Bull Natle Acad Med 2006 ; 190: 753-4.

¹³ : Voir Annexe 2 « L'impact des éoliennes sur le paysage », rédigée par l'Académie des beaux-arts.

¹⁴ : Source : EDF Renouvelables. Ecouter <https://play.acast.com/s/10-minutes-pour-comprendre/edf-renouvelables-le-recyclage>

¹⁵ : Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement - Légifrance (legifrance.gouv.fr). En particulier, voir son Article 29.

¹⁶ : Les installations nucléaires créent des inconvénients semblables (l'atteinte au paysage est indéniable et le coût de leur démantèlement est également marqué par des incertitudes) mais sur un territoire plus limité pour une production équivalente d'électricité. Comme en Suède et en Finlande, le problème des déchets nucléaires est en voie d'être résolu en France : on dispose maintenant de bases scientifiques solides pour créer en Meuse-Haute Marne un stockage géologique profond où pourraient être mis les déchets de haute et moyenne activité à vie longue dans des conditions où la sûreté des populations serait pleinement assurée.

Impacts potentiels des centrales électriques éoliennes sur la biodiversité

Avec le changement climatique, la réduction alarmante de la biodiversité constitue le second grand enjeu de notre époque. On observe notamment une forte diminution des effectifs de populations animales qui pourront être affectées directement (collision et effets barrières chez les espèces volantes mais aussi déviation des flux de migrateurs vers des zones moins favorables) ou indirectement (bruit, vibrations) par la multiplication des centrales éoliennes¹⁷.

Face à l'opposition grandissante des populations humaines concernées, l'implantation d'éoliennes se fait de préférence dans des zones reculées qui sont justement souvent des refuges pour la biodiversité car moins perturbées. Or, chez nombre d'espèces d'oiseaux et de chiroptères, une augmentation accidentelle de la mortalité par collision à l'âge adulte, même très faible en apparence, peut conduire à l'extinction des populations¹⁸.

Qui plus est, en parfaite contradiction avec la loi de protection de la Nature de 1976¹⁹ et celle de la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016²⁰, les études d'impact des éoliennes sur la biodiversité ont, dans le passé, démarré le plus souvent une fois l'implantation des projets décidée, négligeant la phase « évitement » de la séquence « éviter-réduire-compenser » telle que décrite dans la loi. Cette approche apparaît comme la norme des nouveaux projets d'éoliennes marines²¹, mais d'ambitieux programmes de recherche doivent être entrepris pour répondre aux nombreux questionnements encore sans réponse sur leur impact environnemental²².

Composition et recyclage des matériaux

Une éolienne est constituée majoritairement de béton, de métaux ferreux (fer, acier) et non ferreux (aluminium, zinc), de polymères (plastiques, résines, colles), de fibres de verre ou de carbone et d'une faible proportion de bois (principalement du balsa issu d'Equateur) ; seule une très faible part du parc éolien français actuel nécessite des terres rares dont l'extraction pose de graves questions environnementales²³.

Etant donné la courte durée de vie de ces centrales et le gigantisme des parcs éoliens en construction ou en projet, la question du recyclage de leurs éléments constitutifs revêt une importance majeure.

A l'heure actuelle, environ 90% de la masse totale d'une centrale éolienne peut être recyclée et la plupart des composants peuvent être ainsi réintégrés dans les circuits de production bien installés : par exemple, l'acier, le cuivre, la fonte sont refondus et réutilisés comme tels ; le béton est broyé et réutilisé.

¹⁷ : Voir Annexe 1-B « Impacts des éoliennes sur la biodiversité », rédigée par l'Académie des sciences.

¹⁸ : Voir Annexe 1-B « Impacts des éoliennes sur la biodiversité », rédigée par l'Académie des sciences.

¹⁹ : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006068553/>

²⁰ : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033016237>

²¹ : Voir par exemple le "Rapport du Ministère de la transition écologique consécutif au débat public portant sur un projet éolien en mer au large de la Normandie et son raccordement", accessible ici [Journal officiel de la République française](http://Journal.official.de.la.Republique.fr) - N° 294 du 5 décembre 2020 (eoliennesenmer.fr)

²² : Voir référence 17.

²³ : Source : EDF Renouvelables. Ecouter <https://play.acast.com/s/10-minutes-pour-comprendre/edf-renouvelables-le-recyclage>

Le principal défi reste ainsi celui du recyclage des pales et en particulier des matériaux composites utilisés pour leur conférer à la fois rigidité, résistance et légèreté. Les matériaux composites utilisés jusqu'à récemment (résines et fibres) étaient quasiment inséparables, rendant le processus de recyclage très compliqué et peu rentable, pour un coût environnemental mal connu (émissions de CO₂ et consommation de ressources). A l'heure actuelle, les pales sont principalement broyées pour être revalorisées comme combustibles en cimenterie ou, dans une moindre mesure, pour constituer de nouveaux matériaux composites. Le démantèlement des parcs éoliens (dès 2025 pour les parcs existants et les années suivantes)²⁴ nécessite le développement de nouvelles solutions sans lesquelles des gisements considérables de déchets seront créés, rendant cette technologie peu compatible avec la faible empreinte environnementale que l'on souhaite attribuer aux énergies renouvelables.

La solution se trouve principalement dans l'innovation du côté de nouveaux matériaux composites facilement dissociables et qui pourraient intégrer des circuits de recyclage ou de revalorisation à forte valeur économique.

Un avenir pour les centrales électriques éoliennes ?

Eu égard à l'intermittence du vent à terre et l'opposition croissante des populations riveraines concernées, à terre ou le long des côtes, l'avenir de cette technologie se profile vraisemblablement du côté des éoliennes offshore. La présence de vent étant mieux assurée, le facteur de charge²⁵ est de l'ordre de 29 à 48% alors qu'il atteint rarement 30% pour l'éolien terrestre. La distance à la côte est, par ailleurs, suffisamment grande pour réduire l'atteinte au paysage. Les scénarios prévisionnels permettent d'envisager une puissance installée de 50 GW installés en 2050 pour assurer 25% d'une consommation d'électricité française prévue à 650 TWh²⁶, ce qui correspondrait à environ 3300 éoliennes de 15 MW, les plus puissantes à ce jour, d'une hauteur de 270 m pour un rotor à une hauteur de 150 m et un diamètre de pales de 240 m.

L'avenir de ces éoliennes est bien sûr également conditionné par l'évolution de leurs performances et des investissements nécessaires et l'assurance qu'elles sont compatibles avec la lutte contre l'érosion de la biodiversité²⁷ et avec la pêche et la navigation. Et ce n'est pas suffisant : pour pallier l'intermittence de l'énergie éolienne et éviter le gaspillage d'énergie pendant les heures creuses, de sérieuses avancées dans le domaine du stockage de l'énergie sont indispensables.

²⁴ : 300 à 500 éoliennes par an devront être démantelées entre 2025 et 2030 et ce rythme sera amené à s'accroître avec les projets d'installations à venir (Données SER)

²⁵ : Le facteur de charge ou facteur d'utilisation d'une centrale électrique est le rapport entre l'énergie électrique effectivement produite sur une période donnée (généralement sur une année) et l'énergie qu'elle aurait produite si elle avait fonctionné à pleine puissance durant cette période.

²⁶ : Voir les scénarios de RTE.

²⁷ : Ce qui soulève encore beaucoup d'incertitudes à ce jour : voir référence 17.

Conclusions

Socialement, l'implantation des éoliennes terrestres et littorales se heurte à des résistances de plus en plus grandes dans certaines régions françaises où la dénaturation du paysage et les nuisances (sonores et visuelles notamment) qu'elles provoquent accentuent un sentiment d'injustice territoriale. D'un point de vue écologique, les études d'impact sont encore bien trop limitées pour permettre de garantir que le déploiement des éoliennes ne fragilisera pas encore davantage une biodiversité déjà largement en crise. Enfin, l'intermittence de l'énergie éolienne (comme de l'énergie photovoltaïque²⁸) empêche, à l'heure actuelle, de s'affranchir des combustibles fossiles si l'on veut garantir une sécurité d'approvisionnement national.

Sauf si des innovations majeures apparaissaient dans le domaine de l'énergie, le groupe de travail interacadémique fait ainsi le constat que les objectifs de transition énergétique ne pourront être atteints qu'en maintenant une part nucléaire importante dans le mix énergétique français. Comme l'Académie des sciences l'a indiqué dans un rapport récent²⁹, la croissance de la demande électrique, probablement sous-estimée aujourd'hui, et l'âge de nos réacteurs nucléaires impliquent de mettre en place sans attendre une stratégie industrielle compatible avec cette nécessité.

Il est indiscutable que les énergies renouvelables, et notamment l'énergie éolienne offshore, auront une place significative dans le mix électrique futur de la France. Cependant, dans l'état actuel des capacités de stockage, la place de l'énergie nucléaire (principale source non intermittente et bas carbone française) dans ce mix reste indispensable et à un niveau important. En effet, il est illusoire de penser que le développement des seules énergies renouvelables, et de l'énergie éolienne en particulier, permettra à la France de lutter contre le changement climatique en assurant ses besoins en électricité décarbonée au cours des prochaines décennies tout en garantissant son indépendance énergétique, la limitation de l'augmentation du prix de l'énergie et la préservation de ses territoires et de sa biodiversité. S'il est possible d'envisager une participation très significative des éoliennes offshore au mix énergétique, leur implantation, leur fonctionnement et leur démantèlement en fin de vie soulèvent encore de nombreuses incertitudes quant à leur impact sur la biodiversité.

²⁸ : Notons que le coût du photovoltaïque a diminué de dix fois en deux décennies et ses possibilités d'innovation restent considérables. Cette source d'électricité dispose également d'une grande capacité d'installation dans le bâti sans défiguration des paysages et de nouvelles solutions émergent enfin pour éviter qu'il entre en concurrence d'usages avec les sols agricoles ou les sites naturels (par exemple l'agrivoltaïsme qui concilie activité agricole et la production énergétique sur une même surface et l'écovoltaïsme permettant de valoriser les surfaces non exploitées sous les panneaux solaires par le développement de solutions écologiques capables de rendre des services à la nature (voir Grison et al. 2021. ISTE Editions 2021)).

²⁹ : https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/20210614_avis_nucleaire.pdf

Annexe 1- Contribution de l'Académie des sciences

1-A : « Les éoliennes face au défi énergétique français »

La situation à l'heure présente

La France, parmi les grands pays développés, présente la singularité d'avoir une production d'électricité décarbonée à 92%, puisqu'en 2019 nous avons consommé 470 TWh électriques³⁰ obtenus par du nucléaire (70,6%), de l'hydroélectricité (11,2%), du thermique fossile (8%), de l'éolien (6,3%), du photovoltaïque (2,2%), autres (2%)³¹. Cette consommation d'électricité ne représente qu'environ 25% de notre consommation énergétique totale (environ 1 700 TWh) puisque les transports, le secteur résidentiel, l'industrie, gros consommateurs de combustibles, sont les secteurs dominants.

Il est donc curieux de constater que les débats se soient, jusqu'à présent, concentrés sur un problème quasi-résolu sans s'adresser en priorité à ceux qui ne le sont pas (la fermeture de Fessenheim est une illustration de ce paradoxe). Néanmoins, si nous nous engageons dans une voie visant à décarboner significativement les transports, l'industrie et le chauffage des maisons, la demande électrique augmentera. L'abandon des combustibles fossiles et la saturation de nos capacités hydroélectriques ne nous laisseront plus alors que le choix d'un arbitrage entre les proportions respectives de renouvelables (éolien et solaire) et de nucléaire, dans un contexte où des oppositions fortes à l'une ou l'autre de ces technologies se manifestent dans diverses fractions de l'opinion.

Notons que tous les scénarios de transition qui nous sont exposés présentent des incertitudes que nul ne sait chiffrer de manière très rationnelle. Quelle quantité de TWh serons-nous réellement capables d'économiser par une sobriété accrue ? Quel accroissement de la demande électrique faut-il attendre des mutations technologiques nécessaires (véhicules électriques, abandon des combustibles fossiles pour le chauffage, etc.) ? (La plupart des scénarios partent de l'hypothèse d'un passage de 25% à 50% de la part de l'électricité dans notre consommation énergétique). Quelle quantité d'électricité faut-il stocker pour faire face à l'intermittence du vent et du soleil ? Les différents projets qui se présentent à notre analyse ne sont guère explicites sur ces sujets pourtant essentiels.

Les paramètres physiques

Avant de se lancer dans une analyse quelconque il faut se pencher sur les paramètres physiques incontournables.

L'énergie solaire incidente, environ 1kW/m² en moyenne dans notre pays en incidence normale, est transformée en électricité par des panneaux semi-conducteurs. Le rendement des

³⁰ : Nous utiliserons des unités de puissance qui se succèdent par des facteurs multiplicatifs de mille en mille, les Watt, Kilowatt (KW), Mégawatt (MW), Gigawatt (GW), Térawatt (TW) et caractérisent le potentiel d'une installation de production d'énergie.

Par exemple les réacteurs nucléaires en construction à Flamanville ont une puissance unitaire de 1,3 GW.

Nous avons également besoin d'unités pour caractériser la consommation d'énergie, le Kilowattheure (kWh), et similairement de mille en mille jusqu'au Térawattheure (TWh). (D'autres préfèrent la tonne d'équivalent pétrole (tep) 1 tep = 11 628 kWh).

³¹ : RTE Bilan électrique 2019 <https://bilan-electrique-2019.rte-france.com/production-totale/>

semi-conducteurs, c'est-à-dire leur capacité à produire de l'électricité à partir de l'énergie reçue, est au mieux de 20% avec du silicium monocristallin. La variabilité diurne et saisonnière de l'ensoleillement donne un facteur de charge (puissance moyenne produite effectivement par rapport à la puissance maximale théorique des capacités installées) d'environ 15% en France³². Un panneau d'un m² fournit ainsi une puissance moyenne de 30 W (1000x0,2x0,15) ; il faut donc plus de 3 000 hectares de panneaux photovoltaïques pour disposer d'une puissance moyenne de 1 000 MW (1GW).

Les éoliennes terrestres ont une puissance unitaire qui varie de 1,8 à 3 MW, et un facteur de charge d'environ 26% en 2020³³. Il faut donc près de 900 éoliennes de 3 MW pour 'remplacer' un réacteur comme l'un de ceux de Fessenheim (900 MW), qui a produit 6 TWh en 2018.

Les éoliennes en mer ont des puissances supérieures, qui vont à l'heure actuelle de 6 à 8MW, avec des facteurs de charge qui peuvent atteindre 35%³⁴. La même comparaison conduit à 245 éoliennes de 8 MW pour 'remplacer' un réacteur de 900 MW.

Munis de ces chiffres nous pouvons examiner la signification des projets présentés en oubliant un instant les incertitudes notées ci-dessus.

Les scénarios de RTE

Se plaçant dans le cadre du décret d'avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2019-2028, qui fixe comme objectif d'atteindre une neutralité carbone en 2050, la société publique RTE, qui gère le réseau de transport d'électricité, a publié un rapport en octobre 2021³⁵, pour analyser cette PPE à travers six scénarios qui vont de 100% de renouvelable (aucun nucléaire), à 50% de nucléaire, le reste étant assuré par les renouvelables (dont l'hydroélectrique). RTE a travaillé sur une hypothèse de référence dans laquelle la consommation énergétique totale diminuerait grâce à un effort important de sobriété, pour passer à 1 100 TWh au lieu des 1 700 TWh actuels ; la consommation électrique passerait néanmoins de 470 à 645 TWh.

Le scénario qui fait appel à la plus petite quantité de renouvelables (il porte le numéro NO3), satisfait à la consommation électrique prévue par RTE, avec 43 GW d'éolien terrestre et 22 GW d'éolien en mer.

Pour apprécier ce que cela signifie, il suffit de retourner aux puissances indiquées ci-dessus : ces puissances demandent environ 15 000 éoliennes terrestres et 44 grands parcs d'éoliennes off-shore du type de celui qui est prévu pour la baie de Saint-Brieuc (bloqué pour l'instant). Notons que les puissances citées ici sont des "puissances-crête" dont la production effective est à pondérer par les facteurs de charge mentionnés ci-dessus.

L'éolien en mer représente l'un des objectifs essentiels, affiché par la PPE pour la période 2019-2023.

³² : Le facteur de charge moyen annuel solaire s'est élevé à 13,5 % en 2019, contre 15% en 2018 (Rapport RTE, Bilan électrique 2019, https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-06/bilan-electrique-2019_1_0.pdf)

³³ : Facteur de charge pour 2020. La production éolienne en détail, RTE, 3 mars 2021 <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/production-eolien/#:~:text=La%20production%20C3%A9olienne%20mensuelle,une%20puissance%20de%20124%20MW>

³⁴ : Selon WindEurope (anciennement Association européenne de l'énergie éolienne), la moyenne européenne pourrait atteindre 38%.

³⁵ : RTE, 25 Octobre 2021 « Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production » : <https://www.cre.fr/Actualites/futurs-energetiques-2050#:~:text=Dans%20cette%20C3%A9tude%20RTE%20propos,olaire%2C%20soit%20en%20se%20concentrant>

- Le parc éolien de Saint-Nazaire en cours de construction, comportera 80 éoliennes de 6 MW, soit une puissance crête de 480 MW (et donc 170 MW de puissance moyenne). La construction a été précédée d'une négociation avec les exploitants de l'industrie de la pêche, et à l'heure actuelle le projet semble jouir d'une acceptation sociale convenable.
- Le projet de la baie de Saint-Brieuc prévoit 62 éoliennes de 8 MW, soit une puissance moyenne de 178 MW (62x8x0,36). En revanche ce projet fait pour l'instant l'objet d'une opposition forte des pêcheurs de la baie. Le fait que l'enquête d'impact ait suivi la décision d'implantation, au lieu de la précéder, n'a pas été très heureuse.
- Le Ministère de la transition écologique fait état des projets relatifs à cinq ou six parcs supplémentaires à l'horizon 2030.

La puissance moyenne d'un parc en mer, environ 175 MW pour un parc de 78 km² (Saint-Nazaire), en comparaison d'une centrale thermique d'environ 600 MW, ou nucléaire de 900 à 1 400 MW, explique que tous les scénarios RTE, même les moins "venteux", exigent plusieurs dizaines de parcs.

En ce qui concerne les éoliennes terrestres, il y en a environ 8 000 aujourd'hui, le scénario N03 demanderait, en gros, d'en doubler le nombre. Quant aux scénarios 100% ENR, qui demandent environ 70 GW à l'éolien terrestre, il faudrait multiplier par quatre le nombre d'éoliennes terrestres.

La suite de ce rapport analyse les conséquences environnementales, sur la vie des populations, sur les paysages, sur la biodiversité, d'une telle décision.

L'intermittence et le stockage

Il nous faut examiner la contrainte liée à l'intermittence des ressources solaires et éoliennes. La distribution d'électricité est soumise à la double nécessité impliquée par l'équilibre nécessaire d'un réseau : fourniture du courant et stockage. L'article récent de Fontecave et Grand (2021)³⁶ examine en détail les diverses solutions envisageables.

L'intermittence des renouvelables impose de disposer de ressources complémentaires décarbonées, comme l'hydroélectricité, le nucléaire, l'hydrogène (à condition que sa production soit décarbonée), ou d'énergie stockée. Il faut donc à côté des renouvelables, des ressources pilotables et sans carbone.

Il faut simultanément déployer des moyens massifs en stockage d'énergie. Les moyens de stockage actuels sont hydroélectriques (stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)), les échanges transfrontaliers, et une flexibilité accrue de la demande. A l'avenir le stockage par des batteries et la production d'hydrogène décarboné sont envisagés (mais pour l'instant la production d'hydrogène résulte à plus de 90% de la combustion de combustibles fossiles). Dans un scénario comme le N03 à 50% nucléaire, les auteurs de l'article cité ci-dessus indiquent qu'il faudrait pouvoir stocker 70 TWh/an (et plus du double dans un scénario 100% ENR) par un accroissement simultané des stations de pompage hydraulique, des centres de stockage électrochimiques (batteries) de grande dimension, et des électrolyseurs capables de produire de l'hydrogène puis de le comprimer.

³⁶ : Marc Fontecave, Dominique Grand. Les scénarios énergétiques à l'épreuve du stockage des énergies intermittentes. Comptes Rendus. Chimie, Tome 24 (2021) no. 2, pp. 331-350. doi : 10.5802/crchim.115. <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/chimie/articles/10.5802/crchim.115/>

Le problème du rendement de ces installations devient alors crucial. C'est ainsi que le stockage sous forme 'd'hydrogène vert' produit par électrolyse de l'eau, le procédé 'Power-to-H₂-to-Power', n'a qu'un rendement de 23% : on consomme 4 kWh électriques pour ne produire *in fine* qu'1 kWh.

En conclusion

Indépendamment des considérations sur l'environnement et la biodiversité qui sont développées ci-dessous, ces chiffres mettent en évidence des stratégies qui semblent :

- irréalisables, si on adoptait une politique 100% ENR, en particulier à cause de l'absence de moyens de stockage adaptés à l'intermittence,
- nécessiter, même dans l'hypothèse 50% de nucléaire³⁷, des quantités d'installations éoliennes (et de stockage) nouvelles. Leur réalisation semble problématique, et elle se heurte déjà à des rejets dans l'opinion.

Enfin, un maintien du nucléaire au taux présent de 70%, dans le cadre d'une augmentation sensible de la consommation électrique, permettrait de faire l'économie de beaucoup d'éoliennes, mais nécessiterait de construire de très nombreux réacteurs³⁸. Ce serait un défi considérable pour notre industrie qui exigerait une bonne compréhension dans l'opinion.

Cela signifie que la neutralité carbone est un objectif extrêmement ambitieux et difficile à atteindre, qu'il sera nécessaire de bien expliciter à nos concitoyens.

³⁷ : Le scénario N03 implique plus de 50 GW de nucléaire. Le nombre de réacteurs à construire dépend de la durée de vie des réacteurs actuels. Si cette durée est prolongée de 20 ans au-delà des 40 années initialement prévues, il faudrait construire environ 50 réacteurs en 40 ans (puisque en 2060 les anciens auront tous été arrêtés) : cela implique plus d'un réacteur à construire par an pendant 40 ans. Notons que les autorités de sûreté américaines s'interrogent sur une prolongation de la durée de vie à 80 années.

³⁸ : Cela demanderait donc à terme 70 GW au nucléaire et donc la construction de presque deux réacteurs par an d'ici 2060.

1-B : « Impact des éoliennes sur la biodiversité »

La gravité de l'érosion de la biodiversité est telle que les scientifiques considèrent aujourd'hui qu'il s'agit d'une sixième extinction de masse³⁹. Contrairement à une idée répandue, cette érosion n'est pas pour l'essentiel liée au changement climatique induit par l'espèce humaine mais à des effets plus directs des activités anthropiques⁴⁰ (destruction des milieux pour l'urbanisation ou l'agriculture intensive, surexploitation des espèces terrestres et marines, etc.). Certes, l'impact du changement climatique sur le vivant sera d'autant plus grand qu'il s'exercera sur une biodiversité déjà fragilisée, mais ce n'est évidemment pas la production d'une énergie complètement décarbonée qui permettra d'enrayer son déclin. Il convient de s'assurer que certaines des mesures prises pour lutter contre le changement climatique n'aggravent pas la crise actuelle de la biodiversité. En particulier, l'implantation des centrales électriques éoliennes dans les milieux n'est jamais sans conséquence sur les espèces présentes et il convient d'en déterminer les effets.

Le premier effet évident de l'implantation d'éoliennes dans le paysage est le risque de collision pour les espèces volantes et une augmentation, même faible en apparence, de la mortalité d'oiseaux ou de chauves-souris par collision peut entraîner la disparition de leurs populations. Pour comprendre cela, il faut tenir compte des caractéristiques démographiques de l'espèce que l'on considère, et notamment de sa fécondité et de son espérance de vie. Ainsi, chez une espèce où les individus ont une grande durée de vie et peu de descendants, la stabilité des populations dans leurs milieux est assurée en large partie par la grande longévité des adultes. C'est le cas de beaucoup d'espèces susceptibles d'être impactées par collisions avec les éoliennes terrestres ou marines comme les rapaces, les oiseaux marins et les chauves-souris.

Les immenses centrales éoliennes prévues le long des côtes françaises sont par ailleurs susceptibles d'affecter les espèces réalisant des grandes migrations au printemps et à l'automne. Au-delà du risque de collision pour les espèces volantes, ces champs d'éoliennes en mer ou sur les crêtes montagneuses peuvent repousser ou dévier les flux des migrateurs vers des zones moins favorables.

En mer, lors des chantiers d'installation des éoliennes, le bruit intense engendré par le battage des pieux dans des fonds rocheux peut perturber de manière durable les mammifères marins et poissons. La quasi-impossibilité, dans certains projets, de respecter la séquence « éviter-réduire-compenser » telle que décrite dans la loi, a conduit certains industriels à demander des dérogations à la perturbation intentionnelle ou à la destruction d'espèces protégées⁴¹. Cependant, des méthodes existent pour réduire au moins certains des impacts liés de la phase d'installation⁴². De la même façon, durant la phase d'exploitation, les vibrations générées par les turbines, en se propageant grande distance, peuvent perturber la faune.

La modification de la force des vents en aval des éoliennes peut avoir des effets insoupçonnés

³⁹ : Voir, par exemple, https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_fr.pdf

⁴⁰ : Caro, T., Rowe, Z., Berger, J., Wholey, P., & Dobson, A. An inconvenient misconception: Climate change is not the principal driver of biodiversity loss. *Conservation Letters*. 2022; 00e12868. <https://doi.org/10.1111/conl.12868>

⁴¹ : Voir, par exemple, la demande de dérogation faite dans le cadre du projet éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc http://gardezlescaps.org/wp-content/uploads/2018/04/4.8-STB-DEV-R-BTP-1612_Rev_1_Dossier_de_demande_de_derogation.pdf

⁴² : SNH Research Report 1070: A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters ([nature.scot](https://www.nature.com/scienceopen/full/10.1038/s41598-020-70000-0))

sur les équilibres atmosphériques (en induisant des sécheresses locales) ou des modifications des courants marins sur plusieurs dizaines de kilomètres⁴³.

Aussi, chaque milieu a un caractère quasi-unique, du fait de la diversité des conditions environnementales qui y règnent et de la faune et de la flore qui s'y développent. Ainsi, les effets potentiellement bénéfiques de l'ancrage d'éoliennes sur les fonds sableux à faible biodiversité de la Mer du Nord, en offrant de nouveaux substrats favorables à la reproduction de certains animaux marins comme les mollusques, ne peuvent pas être transposés sans étude préalable à la situation des fonds à très riche productivité marine (et, par conséquent, à grande importance économique) des côtes de Bretagne ou du Golfe du Lion. La décision de conduire désormais les études d'impact avant toute décision d'implantation de nouvelles centrales électriques éoliennes va donc dans le bon sens⁴⁴.

Etant donné le nombre et l'envergure des centrales éoliennes, ainsi que leur emprise au sol comme dans les airs ou en mer, les conséquences de leur implantation et de leur fonctionnement sur les espèces et les milieux sont vraisemblablement significatifs. Malheureusement, les données requises à ce diagnostic manquent encore largement. Il est indispensable que des programmes de grande ampleur du suivi de la faune et de la flore, faisant appel aux technologies les plus avancées, soient entrepris avant l'implantation des centrales éoliennes offshore pour minimiser leurs effets et après pour en suivre l'impact.

⁴³ : Voir : Perrow MR. 2017. Wildlife and Wind Farms, Conflicts and solutions. 3: Offshore: Potential Effects. Pelagic Publishing, Exeter, UK. et Perrow MR. 2019. Wildlife and Wind Farms, Conflicts and solutions. 1: Onshore: Potential Effects. Pelagic Publishing, Exeter, UK.

⁴⁴ : Voir, par exemple, la référence 21.

Annexe 1- Contribution de l'Académie des beaux-arts

par Jean Anguera, Académie des beaux-arts

L'impact des éoliennes sur le paysage

Répondre aux besoins matériels de l'homme en détruisant les conditions de son épanouissement moral et psychique auxquelles répond le paysage est socialement aberrant.

C'est pourtant dans ce contexte éminemment paradoxal que se situe l'implantation généralisée des éoliennes.

Par leur présence répétée et disproportionnée se détachant sur le ciel, leur répartition régulière et uniforme, les éoliennes créent **un impact considérable sur le paysage**. Les questions qu'elles posent sont du domaine de l'esthétique, mais par esthétique il faut comprendre les données psychologiques, symboliques, mentales c'est-à-dire intellectuelles et affectives qui conditionnent pour une large part notre bonheur. Le plan esthétique est communément admis comme étant subjectif et donc indéfiniment discutable. C'est la raison qui l'amène à être souvent écarté des débats. Cependant l'impact visuel des éoliennes est si **fort** qu'il dépasse le seuil du subjectif et nous oblige à remettre en cause la validité de leur implantation.

Les propos qui suivent s'appuient principalement sur les témoignages d'habitants du Pithiverais, des environs de Beaune-La-Rolande ou de Toury dans le Loiret, un paysage de plateau considéré généralement de faible valeur sur un plan touristique.

1) La modification des lointains.

« Où que je tourne mon regard il se heurte à une éolienne ; je ne peux plus voir un bout de paysage épargné » Vincent (Toury).

Dans la contemplation d'un paysage le lointain est ce que parcourt essentiellement le regard. Propice au rêve et réalisant notre besoin d'évasion, synonyme d'espoir, il est désormais tronçonné par les épaisses coupures verticales régulièrement espacées que dessinent les éoliennes. C'est l'effet **barreaux de la prison**. Ainsi sur un plan psychologique la présence des éoliennes élimine **le sentiment de liberté** que procure le paysage et ce qui en faisait la valeur essentielle même si inconsciente puisque faisant partie de l'ordinaire.

2) La présence permanente d'un hors d'échelle :

« Quand je regarde les éoliennes derrière le clocher de l'église, j'ai l'impression d'habiter un village de poupées, j'ai l'impression que le territoire est devenu minuscule. » Antoine (Guigneville).

Jusqu'à présent la très grande majorité des réalisations humaines restaient à l'échelle du paysage ; c'est-à-dire dans un rapport de grandeurs avec l'homme et le paysage.

Avec l'implantation d'éoliennes la perception habituelle du paysage est également fortement modifiée quant à ses proportions. Il semble avoir singulièrement rapetissé. Les collines, les bosquets, l'étendue de la plaine ont soudain diminué, et les distances se sont raccourcies. A un sentiment d'enfermement il faut ajouter un sentiment de petitesse des espaces.

3) Le ciel envahi.

« *En s'attaquant au ciel les éoliennes sont écrasantes !* » Monique (Judainville).

Du ciel proviennent les menaces. L'homme y cherche l'avertissement des temps à venir. Or l'éolienne est d'abord dans le ciel. Là-haut est son moteur. Là-haut est le tournoiement de ses pâles. L'éolienne est un objet aérien qui encombre l'espace et en transforme la nature. Dans un même champ visuel des éoliennes par dizaines sont rapidement vécues comme insupportables. C'est un ciel broyé ; un ciel en permanence soumis à une **intrusion**, à un **sentiment de menace**.

4) La beauté conditionnée par l'utilité et par le nombre.

« *Je ne sais pas si j'aime les éoliennes car je soupçonne leur inutilité* » Isabelle (Yèvres-Le-Châtel).

L'idée de beauté d'un objet n'est pas détachable de sa valeur utilitaire. Ainsi dès qu'il est découvert inutile ou inutilisable il devient désagréable à nos yeux, voire laid ou dangereux.

Le jugement esthétique est également soumis à un critère d'unicité ou de rareté. **Nombreuses, identiques, devenues banales et envahissantes** les éoliennes ne peuvent être belles. Au fur et à mesure de leur implantation certaines personnes sont ainsi passées de l'adhésion au rejet et parfois considèrent insupportables de vivre au milieu d'elles, mais il est trop tard pour agir et **beaucoup d'habitants sont saisis d'une forme de désespoir**. Certains les disent nocives sans justifier rationnellement leurs propos, et évoquent des troubles physiques, sans doute s'agit-il de désagréments psychosomatiques mais aux effets bien réels qui ne doivent pas être négligés.

5) Le sentiment de tyrannie.

« *D'un seul coup elles sont là et tu ne sais même pas comment, pourquoi, et qui est le décideur !* » Jean-François (St-Loup-des-Vignes).

La façon systématique et violente d'implanter ces éoliennes d'une taille disproportionnée ressemble à **la main mise d'un pouvoir supérieur** sur nos existences. Toute édification au-delà d'une certaine dimension génère **un sentiment d'oppression**. Elle suppose un parfait accord avec ceux qui côtoient cette édification. Dans le cas contraire elle est perçue comme l'exercice d'une tyrannie. Ces monuments que sont les éoliennes ne sont généralement pas le fait d'un assentiment général. Une commune et au mieux quelques exploitants agricoles peuvent être les bénéficiaires de son implantation. Pour tous leurs voisins, il ne peut s'agir que d'une nuisance à moins d'adhérer aveuglément à une solution écologique qui fait pourtant largement débat.

6) Quand elles sont loin ou quand elles sont proches de chez soi.

« *Tout change en fonction de la distance avec son lieu de résidence. Côtoyée de près la disproportion d'échelle s'impose à l'évidence. Le côté menaçant se fait nettement sentir. Plus moyen d'être indifférent. C'est alors que nous découvrons que notre avis n'est pas sollicité.* » Gérard (Beaune-la-Rolande).

« *Pourquoi les installe-t-on ici dans un paysage magnifique ! Il n'y a qu'à les mettre en Beauce par exemple !* »

La plupart d'entre nous n'a réfléchi aux conséquences de l'implantation des éoliennes que lorsqu'il est directement concerné. **Tout un chacun pense spontanément, et en dehors de toute subjectivité, que l'implantation d'éoliennes détruit le paysage par conséquent son**

premier réflexe est de suggérer de les installer dans un endroit jugé sans intérêt. **Mais n'est-il pas injuste d'imposer une gêne supplémentaire à ceux qui se trouvent déjà dans une situation défavorisée ?**

7) Deux problématiques sont indirectement liées à l'impact sur le paysage :

La question de la **somme provisionnée pour le démantèlement** d'une éolienne : selon l'étude faite par un cabinet d'architecture (agence Dominique Perrault) ce démantèlement pourrait aller sur terrain plat jusqu'à 400 000€. Si le terrain est accidenté le coût peut s'avérer nettement plus important. Quant à la somme provisionnée pour le démantèlement elle ne semble pas s'élever à plus de 100 000€, donc elle **reste bien insuffisante**.

Autre problématique d'ordre technique : celui du **recyclage des pales** en résine époxy armée de fibres de verre. La dureté du matériau composite couplé avec l'avantage de sa légèreté en a fait un matériau utilisé depuis longtemps. Son recyclage fait l'objet d'études depuis de nombreuses années **sans solution véritablement satisfaisante** - par exemple dans le réemploi du matériau des coques de bateau ou de pièces de véhicules automobiles. Il faut songer à la résistance des kayaks de compétition destinés à franchir des rapides sans se briser ou à celle des pâles d'hélicoptère pour imaginer sans peine les difficultés d'un recyclage des résines composites. Ce recyclage s'avère effectivement très difficile. Il est effectué par broyage essentiellement, une technique très coûteuse en énergie, suivi par un réemploi comme charge par noyage dans une nouvelle résine. **La combustion de ces résines** est également complexe parce qu'excessivement **polluante**.

Il est regrettable de constater que les solutions d'avenir aux problèmes esthétiques, économiques et techniques posées par les éoliennes tiennent d'avantage **d'illusions entretenues et de campagnes publicitaires** que de solutions réalistes qui, en tout état de cause, auraient dû précéder la politique d'implantation des éoliennes et non être reportées à plus tard. La mise en service de l'automobile n'a pas eu lieu avant d'avoir solutionné les moyens de freinage du véhicule.

Conclusion :

L'évidence première est que **le paysage participe au bien-être de l'homme. Il est nécessaire que l'homme aime le lieu qu'il habite**. Il trouve ainsi une forme de confort qui répond à un besoin psychique et moral. La beauté du paysage vécu participe à son épanouissement intellectuel, de l'enfance jusqu'à l'âge adulte. C'est pourquoi dans ces déplacements de loisir l'homme recherche les lieux qui lui semblent beaux. Par conséquent il ne doit pas sacrifier la beauté du paysage qu'il habite, car à être toujours ailleurs cette beauté finira forcément par être nulle part.

L'implantation des éoliennes suppose **un sacrifice considérable et généralisé à toute la population**. Au vu des conséquences la décision de leur implantation est d'une **responsabilité énorme** et ne peut être prise qu'avec la certitude absolue de son bien-fondé.

Face au sacrifice consenti ce serait une faute impardonnable de la part de nos décideurs que de nous obliger dans quelques années à assister partout en France aux spectacles désolant de **champs d'éoliennes abandonnés** parce qu'inutiles ou non rentables. Tel risque d'être le paysage que nous laisserons aux générations futures.

Personnes auditionnées

Aurélien BESNARD

Maitre de conférences, université de Montpellier, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE - UMR 5175).

Régis BOIGEGRAIN

Directeur exécutif, chargé des affaires maritimes de RTE.

Denis BORTZMEYER

Directeur adjoint de la R&D chez Arkema.

Camille CHARPIAT

Responsable éolien terrestre, syndicat des énergies renouvelables.

Laurent CHAUVAUD

Écologie marine, directeur de recherches CNRS, LEMAR, université de Brest.

Antoine DE CHILLAZ

Chargé de mission cabinet chez EDF renouvelables.

Guillaume CLEDAT

Responsable développement chez Arkema.

Alain DORE

Président du Collectif de défense de la mer.

Olivier DURIEZ

Maitre de conférences, université de Montpellier, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE - UMR 5175).

Marc FONTECAVE

Membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France, Laboratoire de chimie des processus biologiques, UMR 8229.

Anne GEORGELIN

Responsable éolien en mer, hydroélectricité et EMR, syndicat des énergies renouvelables.

Stéphanie JALLET

Chargée de mission éolien au sein de l'OFATE (Office franco-allemand sur la transition énergétique).

Guy JARRY

Ancien directeur du Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) du Muséum national d'Histoire naturelle.

Jean JOUZEL

Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche émérite au CNRS, Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, CEA, Gif-sur-Yvette.

Henri LABBE

Maire d'Erquy.

Gregory LE DROUMAGUET

Chargé de mission au Comité des pêches maritimes et des élevages marins des Côtes d'Armor (CDPMEM22).

Hervé MACHENAUD

Ancien directeur de la branche Asie-Pacifique du groupe EDF, membre du Cercle d'étude réalités écologiques et mix énergétique (Céréme).

Jean-Claude MENARD

Président de l'association Estuaires Loire & Vilaine.

Xavier MORENO

Président du Cercle d'étude réalités écologiques et mix énergétique (Céréme).

Emeline PETTEX

Écologue marine, Cohabys-ADERA, université de La Rochelle.

Katherine POUJOL

Présidente de l'association environnementaliste « Gardez les Caps ».

Sven RÖSNER

Directeur de l'OFATE (Office franco-allemand sur la transition énergétique).

Philippe TAQUET

Membre de l'Académie des sciences.

Patrice TRAN BA HUY

Président de l'Académie nationale de médecine.

Composition du groupe de travail interacadémique

Académie des sciences

Édouard BRÉZIN

Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'École normale supérieure.

Marie-Lise CHANIN

Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche émérite au CNRS.

Patrick FLANDRIN

Président de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS.

Etienne GHYS

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS.

Jacques LASKAR

Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS.

Yvon LE MAHO

Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche émérite au CNRS.

Président du groupe de travail.

Académie des beaux-arts

Jean ANGUERA

Membre de l'Académie des beaux-arts, section Sculpture.

Laurent PETITGIRARD

Secrétaire perpétuel de l'Académie des beaux arts, membre de la section Composition musicale.

Robert WERNER

Correspondant de l'Académie des beaux-arts, section Architecture.

Académie des sciences morales et politiques

Pierre DELVOLVÉ

Membre de l'Académie des sciences morales et politiques, section Législation, droit public et jurisprudence.

Michel PÉBEREAU

Membre de l'Académie des sciences morales et politiques, section Économie politique, Statistique et Finances.

Jean-Robert PITTE

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences morales et politiques, membre de la section Histoire et géographie.

Georges-Henri SOUTOU

Membre de l'Académie des sciences morales et politiques, section Histoire et géographie.

Secrétariat éditorial

Juliette ROCHET

Responsable des comités, avis et rapports de l'Académie des sciences.

Sophie LEROI

Directrice du Cabinet et des services centraux de l'Académie des sciences.

