



## Annexe 4 FICHES THÉMATIQUES

### **Projet éolien de la Tonnelle sur les communes de Souppes-sur-Loing, Poligny et Bagneaux-sur-Loing**

Concertation préalable du public du 1er mai au 15 juin 2025



# Transition énergétique

## Contexte et objectifs



### Travaux du GIEC

L'Organisation des Nations Unies (ONU) a créé en 1988 le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) qui a pour missions :

- **d'évaluer**  
l'ensemble des connaissances (scientifiques, techniques et socio-économiques) sur le changement climatique ;
- **de cerner**  
plus précisément les conséquences ;
- **d'envisager**  
d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation.



C'est le chiffre estimé par le **GIEC** des énergies fossiles responsables des émissions de CO<sub>2</sub> sur les 10 dernières années\*

\*Rapport de synthèse de l'AR6, IPCC, 2023

**Le sixième rapport du GIEC publié en 2021 considère qu'il est encore temps d'agir avec des mesures fortes de réduction des émissions de gaz à effet de serre permettant de limiter la hausse des températures.**

### Quels leviers d'action ?

- **sobriété**  
et changement de nos modes de vie ;
- **neutralité carbone**  
planétaire en se passant des énergies fossiles et en développant massivement les énergies bas-carbone, particulièrement les énergies renouvelables ;
- **développement**  
des puits de carbones naturels et technologiques (technique du captage-stockage de CO<sub>2</sub>)





## Atteindre la neutralité carbone

Pour parvenir à réduire notre vulnérabilité à l'égard des changements climatiques, un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 a été fixé par l'Union Européenne (équilibre entre les émissions et l'absorption du carbone)

Le saviez-vous ?  
~  
**10 Gt**

Un puits de carbone est tout système qui absorbe plus de carbone qu'il n'en émet. Les principaux puits naturels sont le sol, les forêts et les océans. Selon les estimations, les puits naturels éliminent environ 10 gigatonnes de CO<sub>2</sub> par an.

\*Source Parlement Européen

### Objectifs européens

**2050**

neutralité carbone atteinte dans l'Union Européenne

**-55%**

d'émissions de gaz à effet de serre en 2030

**42,5%**

d'énergies renouvelables dans la consommation<sup>2</sup> de l'Union Européenne

### Déclinaison des objectifs en France en 2030

**-40%**

d'émissions de GES<sup>1</sup> par rapport à 1990

**-30%**

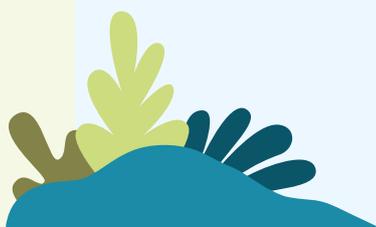
de consommation d'énergies fossiles

**32%**

d'énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GES : Gaz à effets de serre

<sup>2</sup> **Énergie brute finale** : Énergie finale est celle utilisée par le consommateur après transformation des ressources en énergie et après le transport de celle-ci.



## Quelle stratégie pour une bonne transition ?

### Décarbonation

La France utilise plusieurs sources de production d'énergie : c'est le mix énergétique

Le mix énergétique français repose aujourd'hui majoritairement sur le nucléaire et les énergies fossiles (pétrole et gaz principalement).

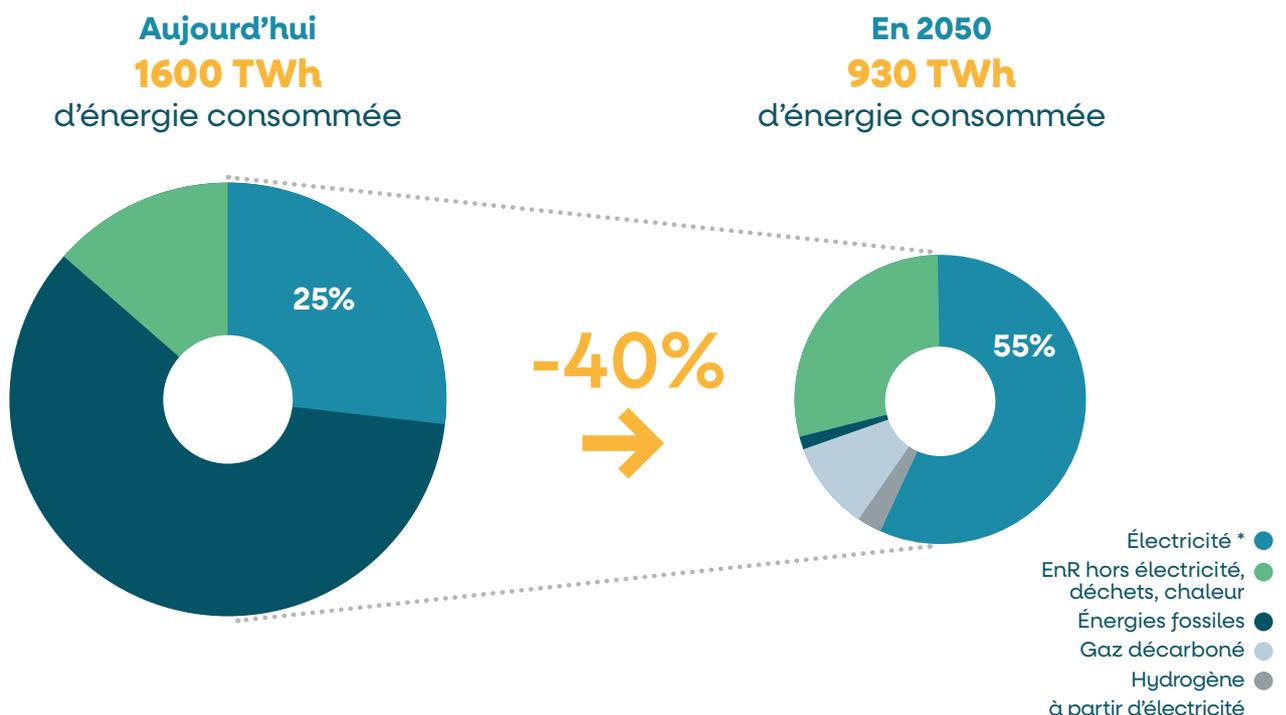
Pour atteindre ses objectifs climatiques, la France doit décarboner son mix et remplacer progressivement les sources fossiles (qui représentent aujourd'hui plus de 60% du mix énergétique) par de l'électricité.

### MIX énergétique français en 2050

Pour se passer totalement des énergies fossiles d'ici 2050, il faudra produire plus d'électricité afin d'électrifier tous les secteurs, notamment les transports et l'industrie qui émettent une grande partie des émissions de CO<sub>2</sub>. L'électricité deviendrait la source d'énergie majoritaire en 2050 et représenterait 55 % du mix énergétique, contre 25 % aujourd'hui.

\*Source Ministère de la transition énergétique

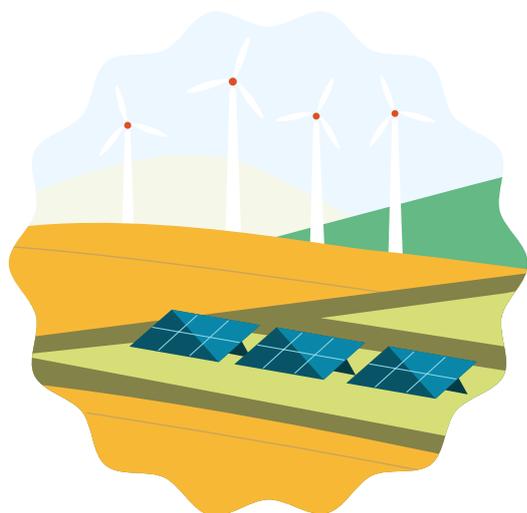
### Consommation d'énergie finale en France et dans la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)



\* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production hydrogène)  
Consommation intérieure d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 Twh

# Le développement des énergies renouvelables

L'énergie éolienne et solaire,  
des alliés pour atteindre les objectifs de réduction des gaz à effet de serre



Au niveau français, tous les scénarios de mix de production permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, établis en 2022 par Réseau de Transport d'Électricité (RTE), visent un important développement des énergies renouvelables, indépendamment des choix qui seront faits sur l'énergie nucléaire.

## Selon les scénarios de mix de production de RTE

- **Le scénario le plus « nucléaire »** prévoit une multiplication par 2,5 de la puissance éolienne terrestre, soit environ **43 GW supplémentaires** et une multiplication par 7 de la puissance solaire, soit environ **70 GW supplémentaires**, par rapport à 2022.

x 2,5 à x 4

de puissance éolienne  
terrestre en  
**2050**

- **Le scénario le plus « renouvelable »** prévoit une multiplication par 4 de la puissance éolienne terrestre, soit environ **74 GW supplémentaires** et une multiplication par 21 de la puissance solaire, soit environ **208 GW supplémentaires**, par rapport à 2022.

x 7 à x 21

de puissance  
solaire en  
**2050**



# Éolien : une énergie propre, bas carbone & compétitive

L'éolien est une énergie propre reposant  
sur une ressource inépuisable : le vent.

Un parc éolien  
de 15MW permet :

**6900**

ménages alimentés en électricité  
(tous usages confondus)

**1350**

tonnes équivalent CO<sub>2</sub> évitées chaque année

soit **9030**

trajets Paris-Marseille en voiture  
(avec moteur thermique)

**25**  
ans

Un parc éolien peut être  
exploité sur une durée  
d'environ 25 ans.

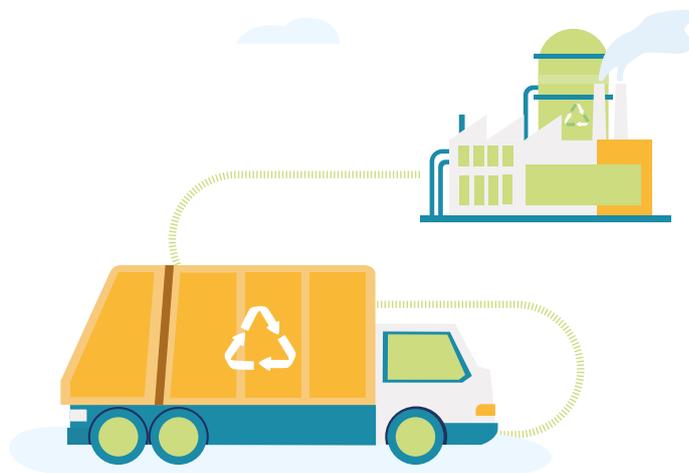
L'Agence de la transition écologique (ADEME) estime que l'énergie nécessaire à la construction, l'installation et le démantèlement futur d'une éolienne, est compensée par sa production d'électricité en 12 mois<sup>1</sup>.

Une éolienne produit donc 24 fois plus d'énergie qu'elle n'en nécessite tout au long de son cycle de vie, soit un « temps de retour énergétique » constaté parmi les plus courts du mix énergétique français.

L'éolien ne crée pas de déchet dangereux  
et est pensé pour permettre son recyclage.

L'éolien n'émet ni gaz à effet de serre, ni particules, ni polluant pour produire de l'électricité. Cette technologie permet ainsi de bénéficier d'une source de production d'électricité conjuguant **qualité de l'air et production énergétique**.

Sur l'ensemble du cycle de vie d'une éolienne, les émissions de gaz à effet de serre correspondent principalement aux phases de fabrication et de transport.



<sup>1</sup> Impacts environnementaux de l'éolien, ADEME, 2015

# Une production efficace & prévisible

## Régimes de vents complémentaires

La France dispose de trois grands régimes de vent complémentaires (méditerranéen, atlantique et continental) : lorsque la production est faible dans une région, elle peut être plus forte dans une autre, assurant ainsi un certain équilibre.

## Production variable et prévisible

La production des éoliennes varie selon les niveaux de vent. Une éolienne produit de l'électricité dès que le vent souffle à environ 10km/h et tourne en moyenne à entre 75 et 95% du temps à une puissance variable.

Les outils météo permettent de prévoir la production éolienne quelques jours à l'avance et ainsi anticiper le mix électrique complémentaire à activer.

## Innovations technologiques

- Grâce aux nouvelles technologies, les éoliennes sont en mesure de produire de l'énergie avec des vents de plus en plus faibles.
- Le gestionnaire du réseau français de transport électrique (RTE), met en œuvre de nombreuses mesures permettant la flexibilité du réseau afin d'obtenir une meilleure gestion de la variabilité éolienne :
  - **Incitation à la réduction temporaire de sa consommation électrique** en prévision d'un pic de consommation, ou à la reporter sur d'autres périodes. (*appelé « effacement électrique »*)
  - **Solutions de stockage**
  - **Adaptation du réseau** avec des postes électriques de dernière génération qui mesurent en temps réel les flux et recueillent les données utiles pour gérer de manière dynamique le système électrique.

Les énergies renouvelables se substituent aux énergies fossiles et fissiles. En Europe on constate que plus l'énergie éolienne se développe, plus la part des énergies fossiles et fissiles diminue.

Les innovations technologiques, la prédictibilité à plusieurs jours, font de l'éolien une source d'énergie fiable permettant une meilleure stabilité électrique dans notre mix énergétique.

France Energie Éolienne (FEE)



# Une énergie compétitive

## Estimation des coûts de production d'électricité par technologie en France (en MW/h)



### Nota bene :

- Pour coûts éolien (terrestre et en mer) et solaire PV, prix moyen, pondérés des offres retenues sur les périodes PPE2 des AO de la CRE
- Pour éolien en mer posé, le coût du raccordement (estimation France renouvelables) a été ajouté au prix AO CRE
- Pour coût nucléaire historique : information d'un rapport confidentiel CRE de 2023
- Pour coût nouveau nucléaire, estimation de la Cour des Comptes pour Flamanville 3

Sources : CRE, SFEN et ADEME

## Un frein à la hausse des prix de l'énergie

L'éolien est une ressource budgétaire conséquente pour les recettes de l'État, en raison des mécanismes de tarifs de rachat de l'électricité qui sont aujourd'hui très inférieurs au prix du marché.

Les producteurs d'énergie renouvelable doivent en effet reverser à l'État la différence entre le prix du marché auquel est vendue l'électricité et le tarif prévu au contrat d'obligation d'achat.

Les énergies renouvelables, notamment l'éolien, ont financé la moitié du bouclier tarifaire sur l'électricité en 2023, avec une contribution de 13,7 milliards d'euros.

En période de forte hausse du coût de l'énergie, ce bouclier tarifaire permet de limiter les répercussions du prix de l'électricité sur les particuliers.

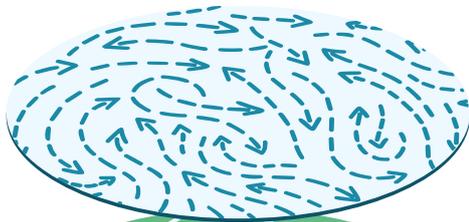


L'éolien est une production locale qui ne nécessite l'achat d'aucune ressource fossile, et assure donc un approvisionnement énergétique indépendamment des fluctuations du marché des énergies fossiles.



# Quelles démarches pour construire un parc éolien ?

Les études et une concertation sont au cœur de l'identification d'une zone d'implantation potentielle. Des analyses multicritères sont menées afin d'identifier des sites propices à l'installation d'éoliennes.



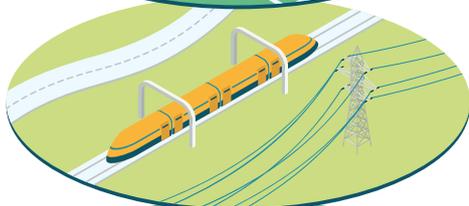
## 1. Gisement de vent

Vitesse moyenne annuelle et direction du vent.



## 2. Urbanisme

Éloignement avec la trame bâtie, conformité avec les documents réglementaires, etc.



## 3. Contraintes techniques

Lignes électriques, voie de chemin de fer, autoroute, conduite souterraine de gaz, accès à la zone du projet, etc.



## 4. Contraintes paysagères

Visibilité avec des monuments historiques, unités paysagères, sites classés, intégration paysagère du projet, etc.



## 5. Biodiversité

Zones protégées, couloirs de migration aviaire, espaces de nidification, zones humides, etc.



## 6. Contraintes aéronautiques

Couloirs aériens, zones de protection radar (*militaires, civiles, météo*), secteurs d'entraînement de l'armée, etc.

Une première phase **cartographique** et de consultation (services de l'État, aviation civile, armée, etc.) est menée. Elle permet de compiler l'ensemble des servitudes et de discerner les espaces où l'implantation d'éoliennes est impossible.

Une seconde phase **d'études et d'analyses de terrain** est ensuite réalisée pour affiner les enjeux de la zone d'implantation potentielle et dimensionner un projet équilibré qui s'insère au mieux dans son environnement.

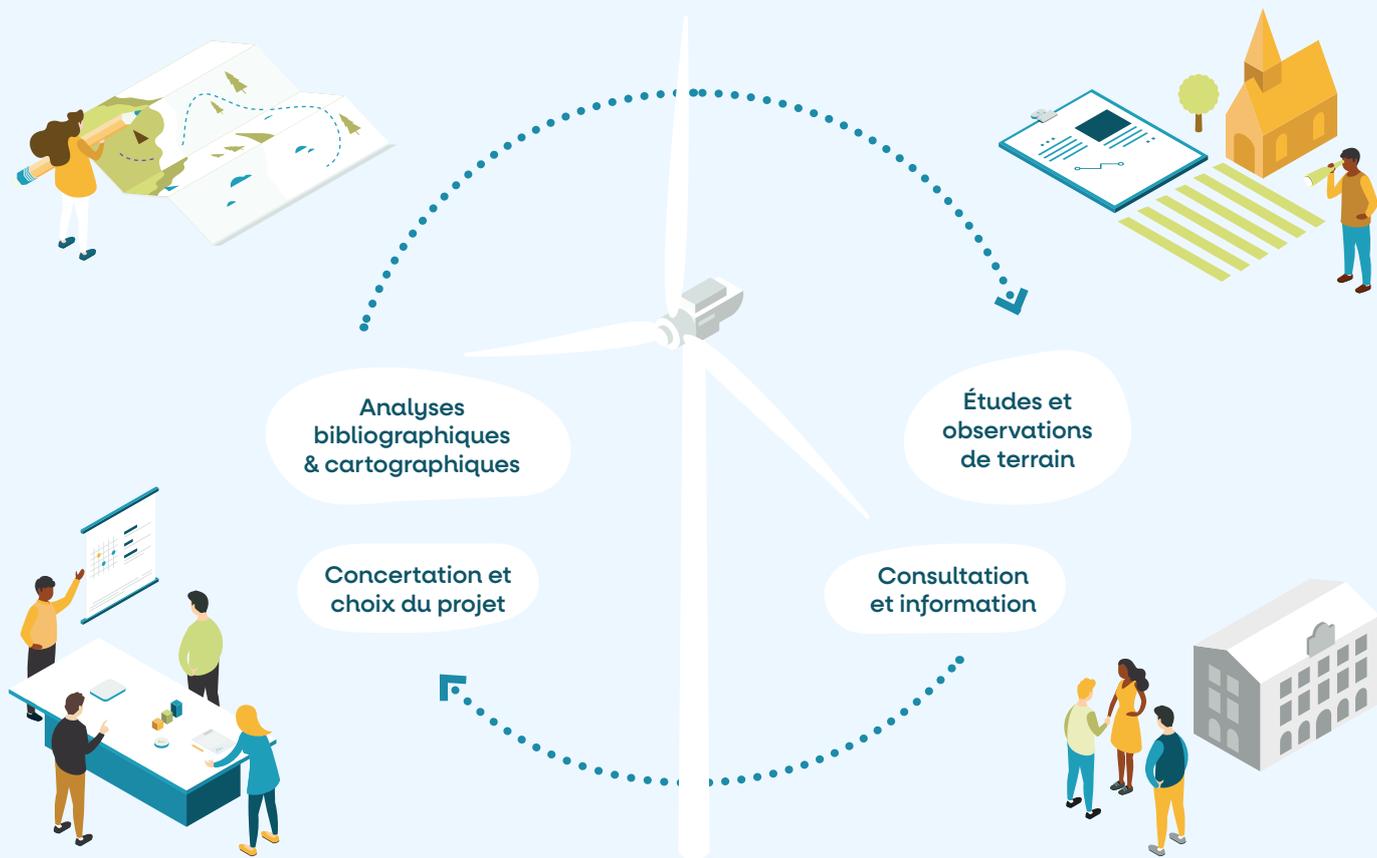
Le travail de **concertation** accompagne la démarche d'étude et permet d'affiner les enjeux du secteur en recueillant des préconisations issues des acteurs du territoire

.....

L'ensemble des données bibliographiques disponibles (inventaires scientifiques, bases de données gouvernementales ou associatives, documents de planification et d'urbanisme, etc.) est complété par des études de terrain ciblées sur les enjeux du secteur et répondant aux exigences des protocoles fixés par le Ministère de la transition écologique<sup>1</sup>.



Les thématiques de ces études sont très variées :  
du **milieu naturel**  
(chiroptères, avifaune, flore, etc.) **au paysage**  
(patrimoine, sites classés, etc.) en passant par  
**le milieu humain**  
(acoustique, faisceaux hertziens, etc.)



Le développement d'un projet est un travail de compromis entre les différentes contraintes et enjeux identifiés, afin d'adapter les choix techniques et proposer un projet en cohérence avec les spécificités du territoire.

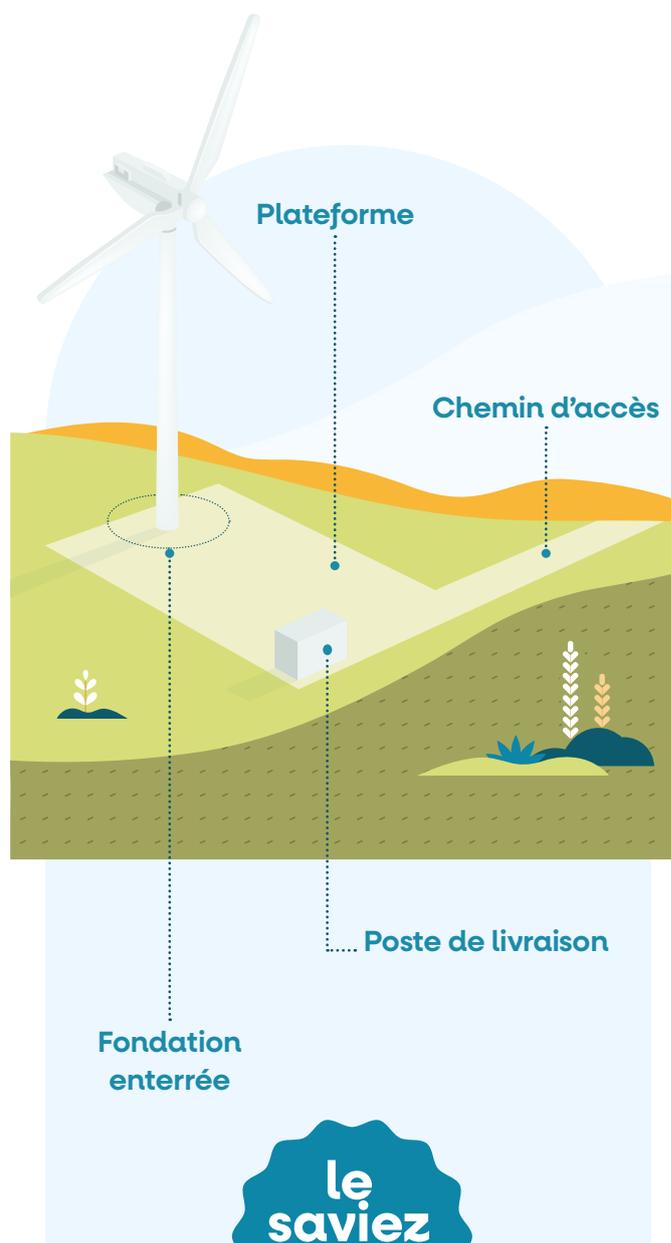
<sup>1</sup> Guide relatif à l'élaboration des études d'impacts des projets de parcs éoliens terrestres, Ministère de la transition écologique, octobre 2020, version révisée.

# Comment passer du vent à l'électricité ?

## Composantes d'un parc éolien

Un parc éolien est constitué de différents composants et aménagements :

- **Éoliennes**
- **Fondations**
- **Plateformes** au pied des éoliennes
  - temporaires pour du stockage en phase de construction
  - permanentes pour la maintenance des éoliennes en phase d'exploitation
- **Câbles inter-éoliennes** permettant de relier les éoliennes et le poste de livraison pour collecter la production d'électricité
- **Postes de livraison** pour concentrer et adapter l'électricité produite (élévation de la tension) afin de la transférer au réseau électrique public
- **Réseau de câbles** permettant d'évacuer l'électricité des postes de livraison vers le poste source, appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité
- **Chemins d'accès**
  - Chemin existant à rendre carrossable
  - Ou
  - Création de nouveaux chemins temporaires (nécessaire pour la phase travaux) ou permanents (utiles pour la maintenance (entretien réparations) du parc éolien en phase d'exploitation).



le  
saviez  
-VOUS  
?

Le raccordement au poste source est entièrement enterré et suit généralement le tracé des chemins existants.

# Comment fonctionne une éolienne?

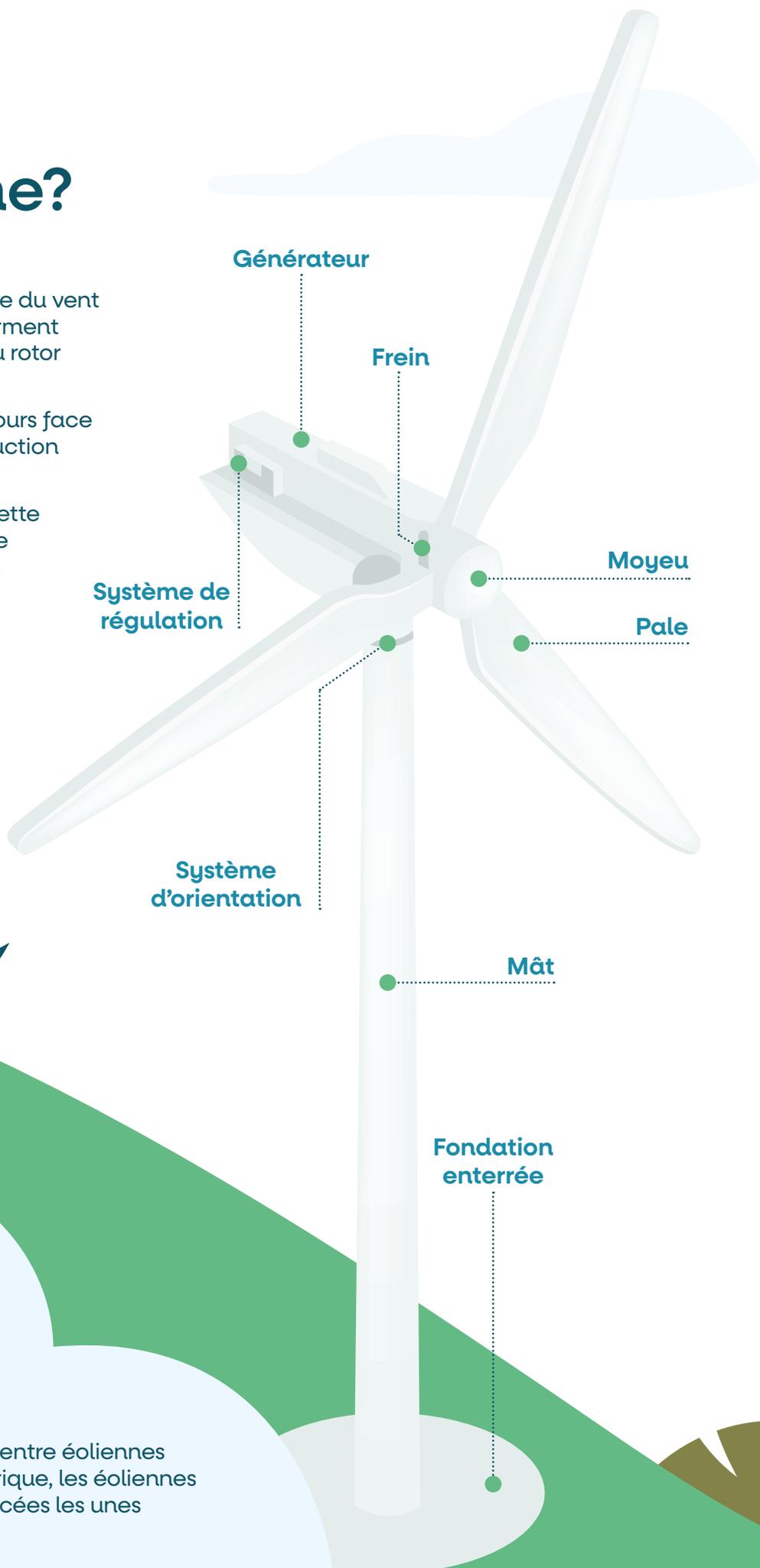


Les éoliennes collectent l'énergie du vent (énergie cinétique) et la transforment en énergie mécanique grâce au rotor constitué de 3 pales.

La nacelle pivote pour être toujours face au vent afin d'optimiser la production d'énergie.

Sur le principe d'une dynamo, cette énergie est par la suite convertie en énergie électrique au travers de la génératrice.

.....



le  
saviez  
-vous  
?

Afin de limiter les perturbations entre éoliennes et optimiser la production électrique, les éoliennes doivent être suffisamment espacées les unes des autres.

Afin de pouvoir démarrer, une éolienne nécessite une vitesse de vent minimale d'environ 10 km/h et s'arrête automatiquement, pour raisons de sécurité, lorsque les vents dépassent 90 km/h. En moyenne, une éolienne tourne donc entre 75 et 95 % du temps à puissances variables.

## Pourquoi on entend qu'une éolienne fonctionne que 30% du temps ?

Il s'agit du facteur de charge qui est le ratio entre l'énergie produite par une éolienne sur une période donnée, et l'énergie théorique

qu'elle aurait générée sur la même période si elle avait tourné à sa puissance maximale.

Cela correspond à une éolienne qui tourne entre 75 et 95 % de temps, mais pas toujours à pleine puissance.

Une éolienne peut être arrêtée pour diverses raisons, telles que la maintenance, les conditions météorologiques, la préservation du voisinage et de la biodiversité, ainsi que des ajustements techniques ou des besoins du réseau électrique.

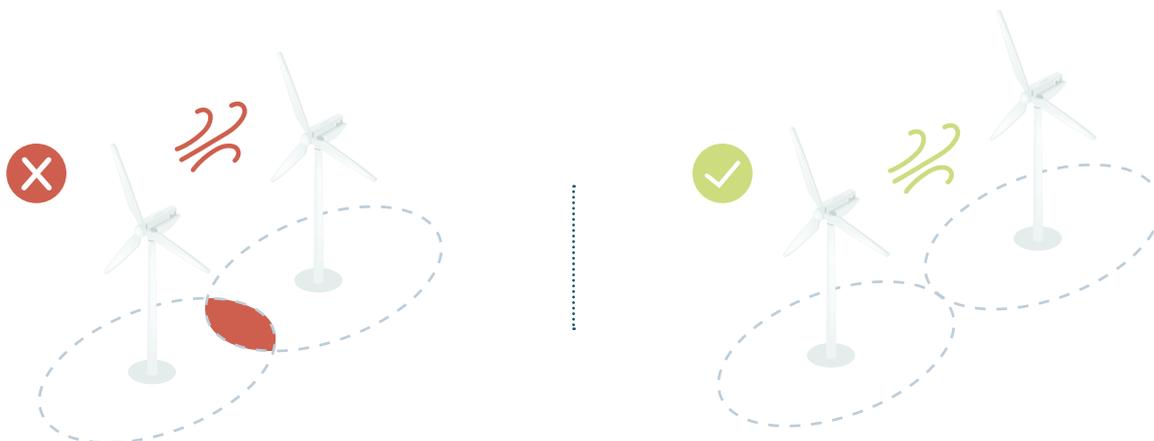
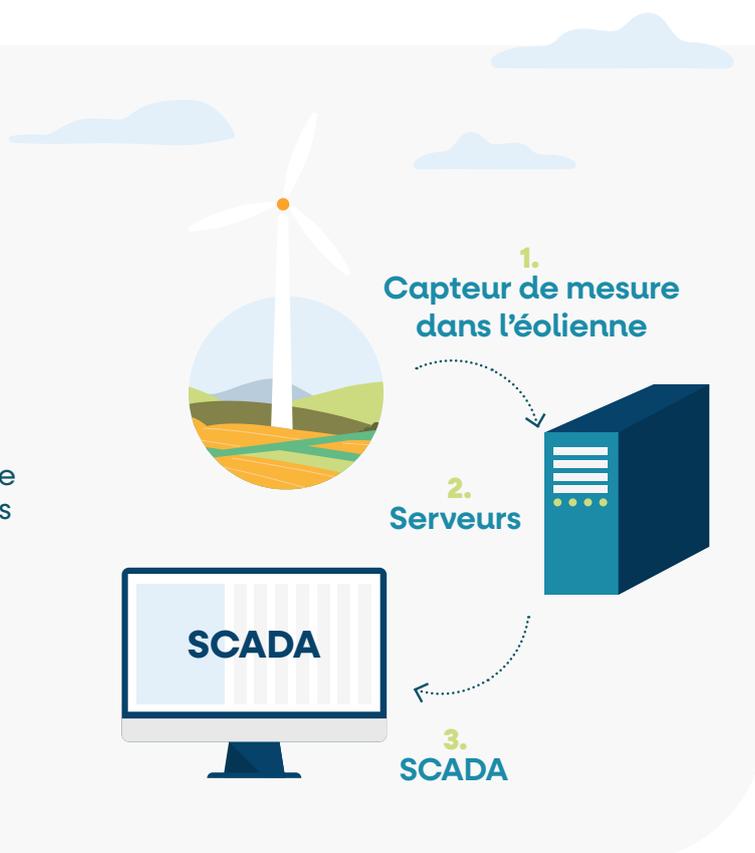
## SCADA

*(Supervisory Control and Data Acquisition)*

Il est possible de contrôler et piloter les éoliennes à distance via le système de supervision SCADA.

Il traite et collecte en temps réel les données de performance du parc grâce à des capteurs installés sur les éoliennes (vitesse du vent, température, pression, position des pales, etc.).

Ce système permet également aux opérateurs de détecter les pannes et de planifier la maintenance préventive pour minimiser les temps d'arrêt et maximiser la production d'électricité.



Si les éoliennes sont **trop proches**, cela peut créer des mouvements d'air parasites (appelait aussi « **effets de sillage** ») entre les éoliennes, et peut altérer la production d'électricité.

# Intégration de l'électricité vers les sites de consommation

L'électricité produite est injectée dans le réseau électrique et acheminée vers les consommateurs.

Pour assurer la stabilité du réseau, le gestionnaire du réseau électrique coordonne en permanence l'adéquation entre l'injection de l'électricité produite par les sites de production électrique et la demande des consommateurs.

Ce travail est rendu possible par :

- **la prévisibilité** de la production éolienne (pouvant être anticipée avec précision 48 heures à l'avance.),
- **l'innovation technologique adaptée** du réseau du transport d'électricité.

## CHIFFRES CLÉS

**2<sup>ème</sup>  
source**

d'électricité renouvelable, ayant couvert **+ de 10%** de l'électricité produite en France en 2023

**9 500  
éoliennes**

sont installées en France pour une puissance de **21.200 MW** au 31 décembre 2022

**25 % de  
baisse du coût**

d'électricité d'origine éolienne en 5 ans

**+ de 1 milliard  
d'euros**

d'investissement par an depuis 10 ans

**28 000  
emplois**

directs et indirects

**Une éolienne  
de 2MW**

(représentative du parc éolien français en service) produit environ **4.000 MWh** par an, ce qui correspond à la consommation d'électricité de plus de **800 foyers**.

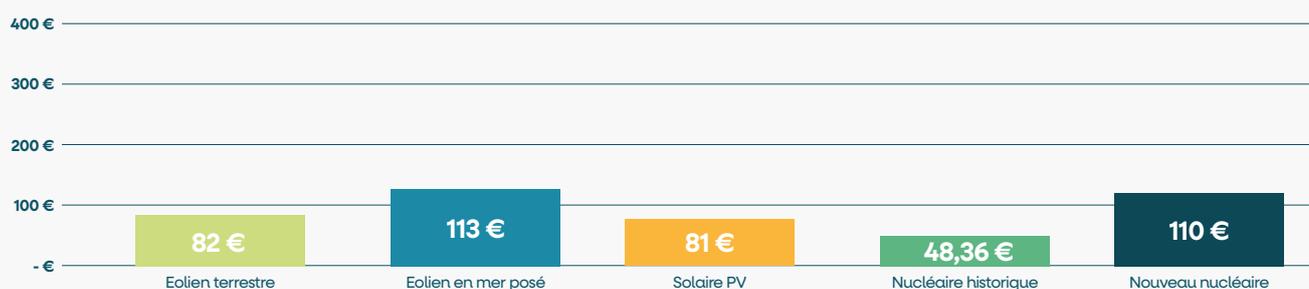
# Enjeux économiques d'un projet éolien

L'énergie éolienne est une énergie décarbonée compétitive et utile au développement de nos territoires.

## 1. Combien coûte un projet éolien ?

Grâce à l'évolution de la technologie et les retours d'expérience, l'éolien terrestre voit son coût diminuer au fil des années pour devenir une énergie de plus en plus compétitive.

### Estimation des coûts de production d'électricité par technologie en France



#### Nota bene :

→ Pour coûts éolien (terrestre et en mer) et solaire PV, prix moyen pondérés des offres retenues sur les périodes PPE2 des AO de la CRE

→ Pour éolien en mer posé, le coût du raccordement (estimation France renouvelables) a été ajouté au prix AO CRE

→ Pour coût nucléaire historique : information d'un rapport confidentiel CRE de 2023

→ Pour coût nouveau nucléaire, estimation de la Cour des Comptes pour Flamanville 3

Sources : CRE, SFEN et ADEME

Les coûts de développement, de construction, d'exploitation et de démantèlement d'un parc éolien sont supportés par le producteur d'énergie. Il est estimé que la mise en service de 1 MW d'éolien terrestre représente environ 1,5 million d'euros d'investissement pour un producteur.

## 2. La vente d'électricité

L'électricité produite par les éoliennes est vendue essentiellement via deux mécanismes

### Le complément de rémunération

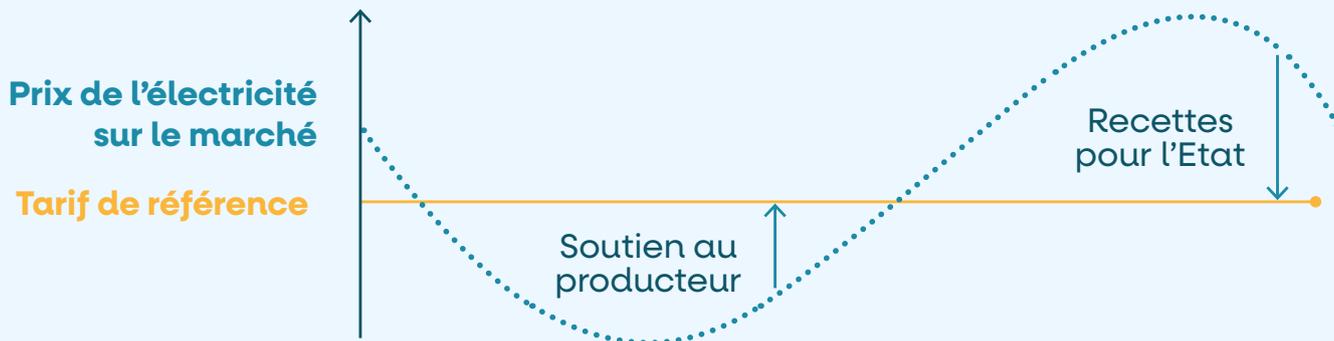
Le mécanisme de complément de rémunération garantit que le producteur puisse vendre directement l'énergie produite sur le marché en percevant de la part de l'acheteur obligé (EDF Obligation d'Achat) une prime par MWh injecté sur le réseau, lorsque le prix de marché est inférieur au tarif de référence.

Cette prime correspond à la différence entre le tarif de référence fixé dans le contrat de complément de rémunération et un prix de marché qui serait inférieur. Elle est financée par l'accise sur

l'électricité acquittée par le consommateur sur sa facture d'électricité et qui s'élève en 2024 à 21 €/MWh pour les ménages et à 20€/MWh pour les entreprises.

Lorsque le prix de marché est supérieur au tarif de référence, le producteur doit alors reverser la différence à l'Etat. Avec l'augmentation des prix de l'électricité, ce dispositif avait permis à l'Etat de récolter plus de 13,7 milliards d'euros en 2023.

## Principe du complément de rémunération



### Contrat d'achat d'électricité (PPA)

Un contrat d'achat d'électricité (plus communément appelé PPA pour Power Purchase Agreement) peut être signé entre le producteur d'énergie éolienne et un acheteur (entreprise, négociant en électricité, etc.).

Les modalités de la vente varient en fonction des conditions contractuelles mais un PPA est généralement un accord à long terme d'environ 10 à 15 ans.

## 3. Retombées économiques d'un projet éolien

### Pour les collectivités

Comme toute entreprise installée sur un territoire, un parc éolien génère de la fiscalité professionnelle à travers :

- Contribution Foncière des Entreprises (CFE)
- Contribution sur la Valeur Ajoutée des Entreprises (CVAE)
- Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseaux (IFER)
- Taxe Foncière sur les Propriétés Bâties (TFPB)

Les retombées fiscales pour l'ensemble des collectivités sont de l'ordre de 10 000 à 15 000€ par MW raccordés, annuellement pendant toute la durée de vie du parc (20 à 25 ans). Cela permet notamment aux communes de garder stable (voire de diminuer) les impôts locaux, d'augmenter leur capacité d'emprunt et de financer de nouveaux projets.

Ces retombées fiscales sont réparties entre les communes, les Établissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI) et le département.

### Création d'emplois pérennes et non délocalisables

Les entreprises de l'éolien sont fortement ancrées dans les territoires, et contribuent à la structuration de l'emploi en régions en se positionnant sur un secteur d'avenir pour le pays.

En 2023, la filière de l'éolien représentait le 1<sup>er</sup> employeur dans le domaine des énergies renouvelables avec 30 000 emplois essentiellement dans des TPE/PME.

### Partage de la valeur avec les riverains

Renner soutient la participation citoyenne dans ses projets. Celle-ci peut prendre différentes formes en fonction de l'intérêt et attentes de chaque territoire :

- financement participatif
- prise de participation au capital
- offres de fourniture d'électricité verte à tarif préférentiel pour les riverains immédiats

# Après l'exploitation d'un parc éolien : que se passe-t-il?

Un parc éolien terrestre produit de l'électricité pendant environ 20 à 25 ans.

Après cela, 2 solutions possibles :

## Démantèlement

L'exploitant doit démonter tout le parc (y compris les fondations) et remettre le site en état. Cela inclut :

.....

- Démontage des éoliennes et du poste de livraison
- Excavation des fondations en béton
- Retrait des câbles
- Remise en état des chemins d'accès et des aires de grutage

ou

## Renouvellement

L'exploitant peut remplacer les anciennes éoliennes par des modèles plus performants pour continuer la production d'électricité.

Plusieurs possibilités s'offrent à lui :

- Remplacer les composants pour prolonger la durée de vie sans changer la configuration du site.
- Moderniser les composants et changer la configuration du parc ou les dimensions des machines.
- Remplacer complètement ou partiellement les éoliennes existantes par des éoliennes plus performantes.

.....

Les projets de renouvellement devront faire l'objet de nouvelles études environnementales en fonction du degré de changement envisagé.





# La loi\* impose le démantèlement complet des installations éoliennes.

Cette opération est rapide et maîtrisée. En effet plusieurs démantèlements de parcs éoliens ont été effectués ces dernières années, permettant un retour d'expérience important et une bonne anticipation des moyens à mettre en œuvre.



## 1. Démontage des éoliennes



## 2. Excavation totale des fondations (béton & ferrailage) + postes électriques



## 3. Évacuation des déchets (transports)



## 4. Valorisation et recyclage des déchets



## 5. Remise en état du site

\* Le nouvel arrêté du 10 décembre 2021 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.

• Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France • Sources : Ademe, 2015.  
• Renouvellement de l'éolien : quelles stratégies possibles et envisageables en fin d'exploitation pour les parcs éoliens terrestres ? • Sources : Ademe, 2020.  
• Guide du recyclage et de l'écoconception des composites • Sources : Livret GREC, 2022.

## Le socle des éoliennes reste-t-il dans le sol après leur démantèlement ?

**Non**, la loi française prévoit le contraire.

Un arrêté du 22 juin 2020 encadre l'exploitation et le démantèlement des parcs éoliens. Il impose le démantèlement complet des installations ainsi que la remise en état du site, et prévoit des garanties financières suffisantes pour assurer le financement de ces opérations.

L'exploitant, c'est-à-dire le producteur d'énergie, doit provisionner des garanties financières pour le démantèlement et ce, dès la construction du parc éolien,

afin d'éviter que les coûts ne pèsent sur les particuliers ou les collectivités.

.....

### Quel montant ?

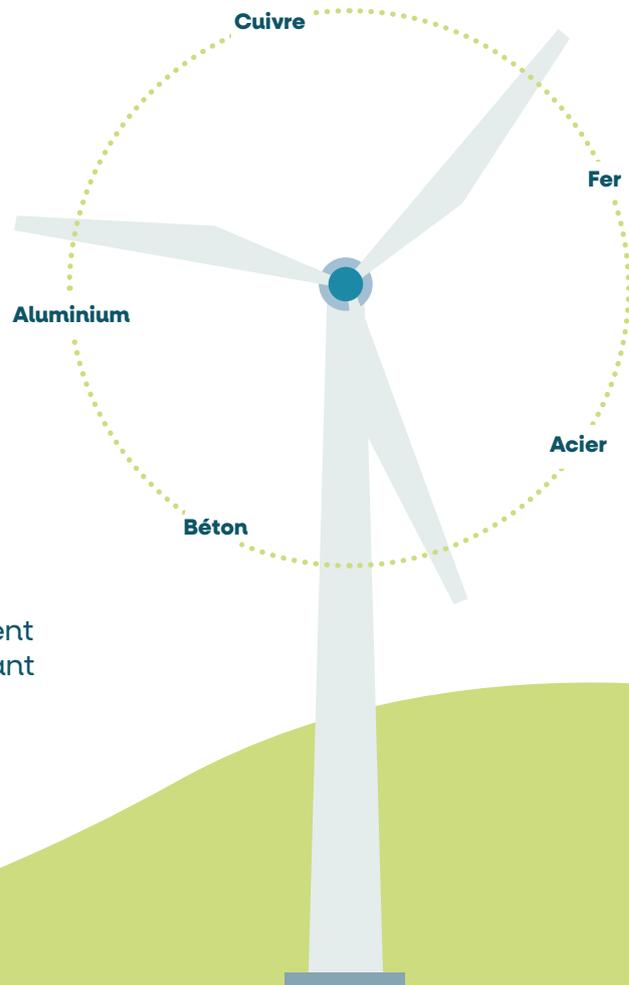
Les garanties financières obligatoires s'élèvent à **75 000 €** pour des éoliennes allant jusqu'à 2 MW. Au-delà, il faut ajouter une somme de **25 000 €** par MW supplémentaire.

Pour une éolienne de 4 MW, il faudra donc compter **125 000 €** (75 000 + (25 000 x 2)).

## Recyclage & réutilisation

À partir de 2024, au moins 95% de la masse d'une éolienne et de ses fondations doivent être recyclés, et au moins 55% de la masse du rotor à partir de 2025.

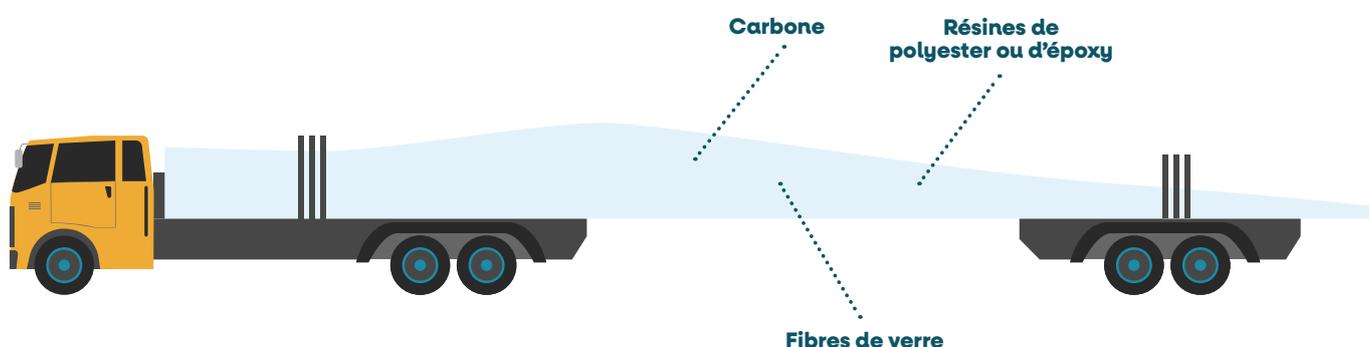
- Les matériaux des éoliennes sont majoritairement recyclables (*béton, métaux, composites*).
- Les composants peuvent être recyclés ou réutilisés (*tel que le béton comme matériau de génie civil*).
- Des filières de recyclage pour l'acier, le cuivre, le fer et l'aluminium existent et sont aujourd'hui éprouvées (*recyclables à 100%*).
- Des innovations sont en cours de développement pour concevoir des bétons écologiques intégrant des matériaux d'origine naturelle et des matériaux de pales 100% recyclables.



# Des innovations technologiques pour améliorer le recyclage de certains matériaux

Les pales sont composées de matériaux composites qui peuvent poser certaines difficultés en matière de recyclage. Actuellement, les pales d'éoliennes peuvent être valorisées en servant de combustible

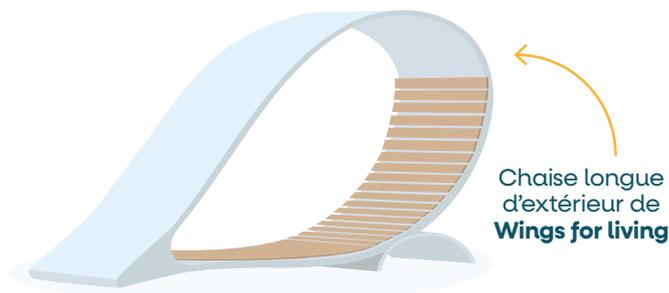
dans des cimenteries. Les matériaux issus du broyage des pales peuvent également être réutilisés pour des dalles de sol, des glissières de sécurité le long des axes routiers ou des meubles par exemple.



## Recyclableblade de Siemens Gamesa

Siemens Gamesa a développé une technologie innovante pour **recycler les composants des pales d'éoliennes**. Grâce à une nouvelle résine, les matériaux des pales peuvent être séparés et recyclés pour d'autres usages, comme la construction, les biens de consommation et l'industrie automobile. Cette technologie, appelée **RecyclableBlade**, permet de décoller, dissoudre et séparer les résines. Les premières pales utilisant cette technologie sont en production depuis 2021.

Les pales d'éoliennes ont inspiré de nombreux designers. Grâce au recyclage, de nombreux objets au design épuré et futuriste sont créés, tels que des bancs, chaises longues, jardinières...



# Potentiel énergétique éolien

## Vent disponible : répartition sur le territoire

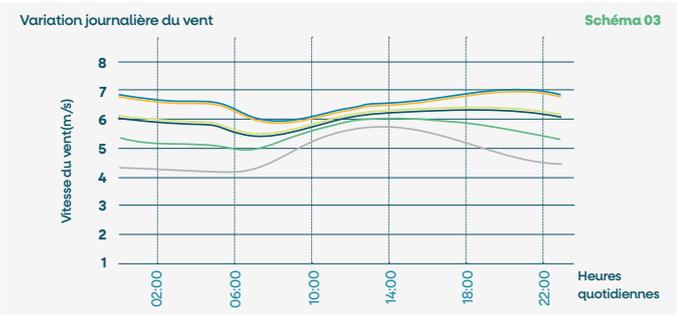
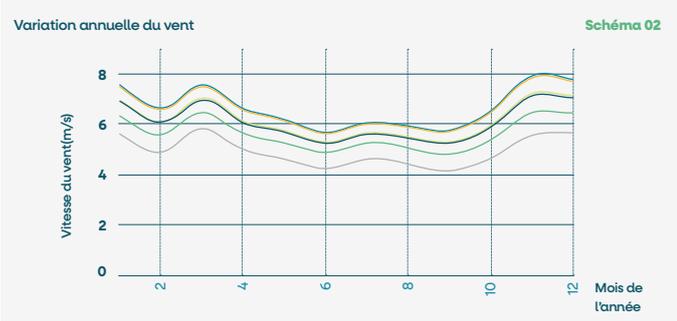
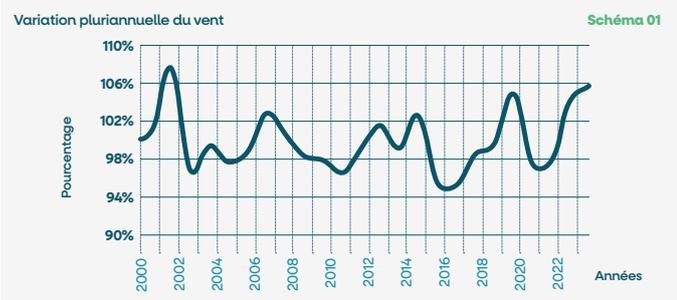
### La répartition du vent sur le territoire français

Les vents les plus forts se trouvent généralement à proximité des côtes du territoire français. Ils viennent principalement du sud-ouest pour la côte Atlantique et la Manche, du sud et du sud-est pour la côte Méditerranéenne.

On parle à cette échelle d'évaluation régionale, celle-ci est déterminée à partir du contenu énergétique du vent au dessus d'une vaste région, comme par exemple le territoire français.

A cette échelle les vents sont principalement influencés par des différences de températures sur le globe terrestre, mais également par des grands reliefs tel que des chaînes de montagnes comme les Alpes, le Massif Central ou les Pyrénées.

Carte avec répartition du vent sur le territoire français, les vents principaux



### Variabilité temporelle du vent

La vitesse et la direction du vent varient à différentes échelles temporelles.

- Ces paramètres peuvent varier sur une période de plusieurs années consécutives : il est possible d'avoir des années plus ventées que d'autres. (Schéma 01)
- Le vent varie également sur une même année, à travers les saisons. Nous observons généralement un vent plus fort en hiver qu'en été, cela vient notamment du fait que les différences de températures entre le pôle Nord et l'équateur sont plus importantes pendant la saison hivernale. (Schéma 02)
- Le vent varie enfin sur une même journée, la nuit le vent est généralement plus fort que le jour car il y a moins de différences de température sur la surface du territoire. Le soleil réchauffant la surface de la terre le jour. (Schéma 03)

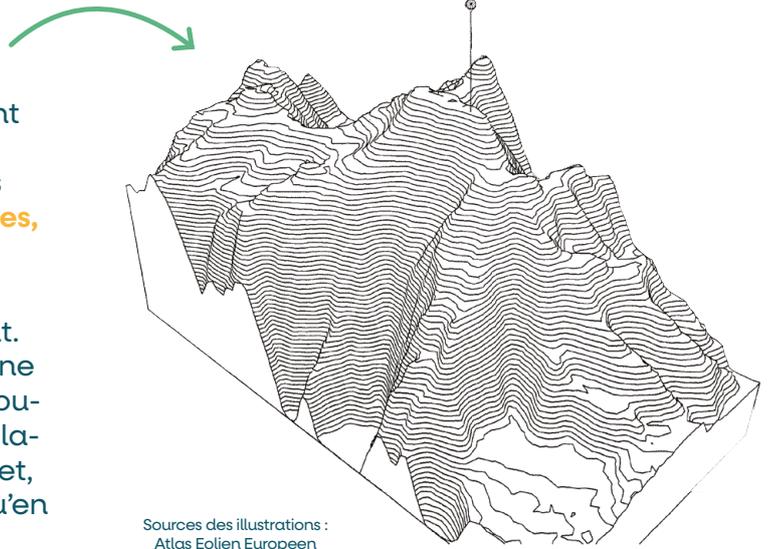
125,00m - C1    125,00m - C2    100,00m - C3    100,00m - C4    75,00m - C5    50,00m - C6

# Influence du terrain sur le gisement éolien

La production énergétique d'une éolienne dépend de caractéristiques spécifiques d'un site, à une échelle réduite.

Les caractéristiques principales d'un site sont la l'orographie, la rugosité et les obstacles. L'orographie définit les variations d'altitudes au sein d'un même site. **On parle ici de colines, de falaises, d'escarpements ou de crêtes.**

Le vent étant un fluide, il va suivre les effets de variation du relief lors de son écoulement. Un vent à proximité des chaînes de montagne sera donc plus turbulent qu'un vent qui s'écoulera dans les plaines Ardennaises ou sur le plateau de la Beauce. Au voisinage d'un sommet, le vent aura tendance à accélérer tandis qu'en bas et dans les vallées il sera ralenti.



Sources des illustrations :  
Atlas Eolien Europeen

## Différentes classes de rugosité, de la classe 0 à la classe 3 sur le schéma ci-dessus.

### Classe 0 : très faible rugosité

Surface où les frottements du vent sont très faibles telle qu'un lac ou l'océan.

### Classe 1 : faible rugosité

Surface où les frottements sont faibles telle qu'une plaine agricole ou une prairie non boisée.

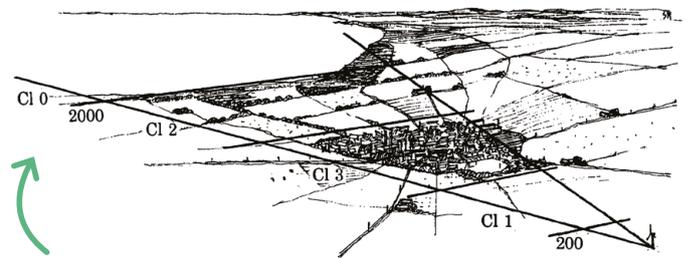
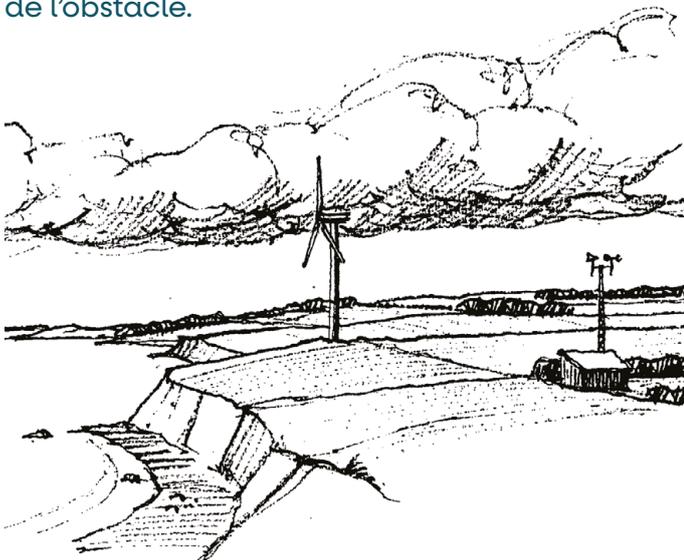
### Classe 2 : rugosité moyenne

Surface où les frottements sont moyens telles qu'une plaine avec délimitations de parcelles par des haies.

### Classe 3 : rugosité forte

Surface où le vent est fortement ralenti en surface telle qu'une ville avec des bâtiments d'habitation pas très haut.

Les obstacles influenceront fortement le vent à leur voisinage. Ils peuvent être des bâtiments ou d'autres constructions. L'effet s'étend verticalement jusqu'à environ trois fois la hauteur de l'obstacle.



**La rugosité** est liée au phénomène de frottement du vent sur le sol. Il existe différents niveaux de rugosité, le vent va être moins influencé par un territoire composé de plaines agricoles ou de lacs plutôt qu'au contact d'une forêt ou d'une ville qui conduiront à un effet de ralentissement du vent au voisinage du sol.

La cumulation des effets topographiques liés à l'orographie, la rugosité et les obstacles conduit à un ralentissement du vent à proximité de la surface. Ce ralentissement en surface est traduit par le profil vertical du vent, ce graphe montre l'augmentation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude sur un même site. Les vents en altitude sont donc plus constants, moins turbulents et plus forts. Le profil du vent peut varier au fil des saisons et de la modification de l'environnement. Par exemple, en hiver les feuilles des arbres sont tombées et la rugosité est donc moins importante qu'en été.

Pour déterminer précisément les effets topographiques liés à un site pour un projet éolien, il est donc très important de réaliser des mesures de la vitesse et de la direction du vent sur un temps assez long à l'aide d'un mât de mesure ou d'un lidar.

# La transformation énergétique par une éolienne

## Transformation du vent en électricité

Le vent est une quantité d'air en mouvement. Scientifiquement, c'est un fluide disposant de multiples caractéristiques telles que sa masse volumique ou sa vitesse de déplacement dans un milieu.

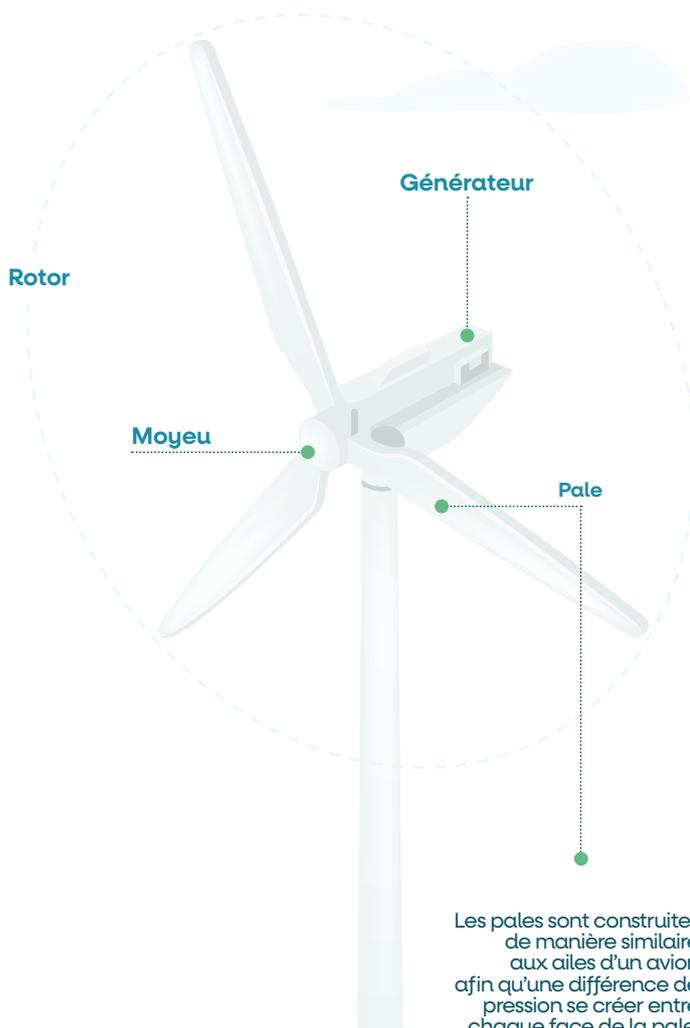
Le vent transporte avec lui de l'énergie liée à son mouvement, on nomme généralement cette énergie « **énergie cinétique** ».

Le rotor et les pales transforment directement l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

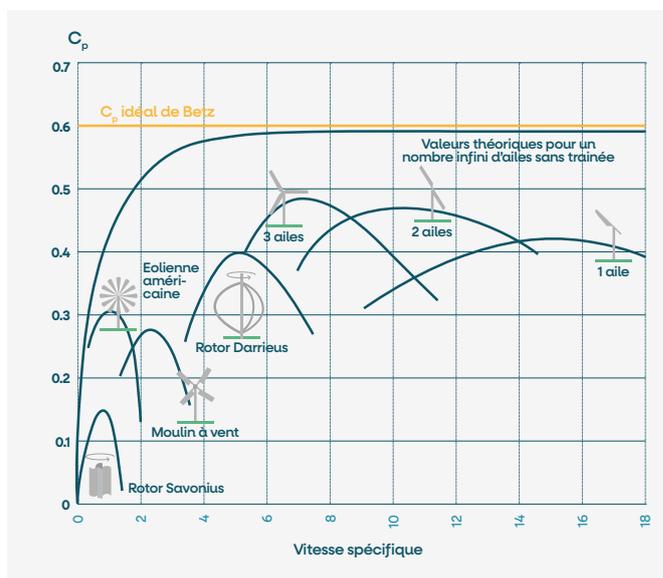
Il n'est pas possible de récupérer 100% de l'énergie contenue dans le vent. Une étude théorique sur l'écoulement du vent établie en 1920 par Albert Betz montre qu'il est possible de récupérer au **maximum 59,3% de l'énergie disponible dans le vent**.

→ Cette limite se nomme « **Limite de Betz** ».

Pour se rapprocher de la limite de Betz, plusieurs types d'éoliennes ont été conçues avec une pale, deux pales ou trois pales (avec un axe vertical ou horizontal). La configuration la plus utilisée est l'éolienne à trois pales avec un axe horizontal.



Les pales sont construites de manière similaire aux ailes d'un avion afin qu'une différence de pression se crée entre chaque face de la pale.



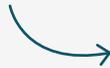
### Le saviez-vous?

Le fait d'avoir trois pales plutôt que deux ne permet pas de récupérer beaucoup plus d'énergie mais plutôt de réduire la vitesse de rotation du rotor pour une même quantité d'énergie extraite du vent.

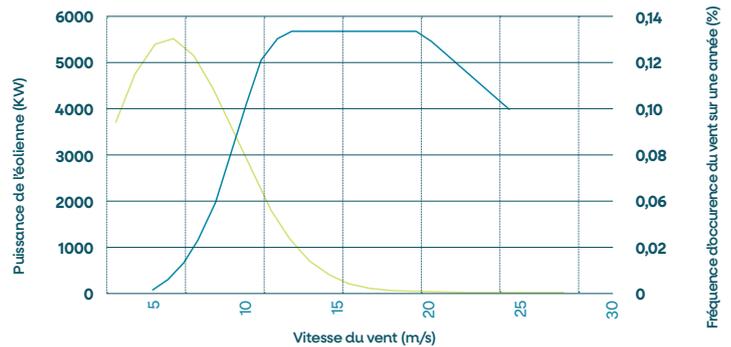
Le fonctionnement d'une éolienne est caractérisée par une courbe de puissance qui détermine quelle quantité d'énergie est produite en fonction de la vitesse du vent. **Plus il y a de vent plus l'éolienne produit de l'électricité.**

Exemple de distribution de statistique du vent

Exemple de courbe de puissance d'une éolienne



Courbe de puissance et ressource en vent



L'énergie produite par une éolienne dépend de la ressource en vent mais également de la taille de l'éolienne. Une éolienne peut avoir une tour plus ou moins haute et un rotor plus ou moins grand.

Cela va avoir un impact directement sur l'énergie produite car, comme nous pouvons le voir à travers l'expression mathématique ci-dessous, l'énergie électrique produite dépend du carré de longueur d'une pale et du cube de la vitesse du vent.

$$\text{Énergie récupérable dans le vent} = \frac{1}{2} * \rho * \pi * \text{Longueur d'une pale}^2 * \text{Vitesse du vent}^3$$

Le vent étant de plus en plus fort et constant lorsqu'on l'on monte en altitude, des éoliennes plus hautes et avec des pales plus longues permettront de récupérer beaucoup plus d'énergie.

Également, pour une longueur de pale égale, une éolienne recevant un vent à 7.0 m/s produira environ +58% d'énergie en plus comparé à une éolienne similaire recevant un vent de 6 m/s.

**À titre d'exemple, pour un vent similaire, une éolienne qui a des pales de 80m produira environ +30% d'énergie en plus comparé à une éolienne avec des pales de 70m.**

## Quel est le rendement énergétique d'une éolienne ?

Entre la ressource en vent disponible et la production d'électricité, il existe plusieurs pertes d'énergie. En effet, le vent permet de faire tourner le rotor de l'éolienne, qui lui-même entraîne l'axe d'une génératrice qui va convertir l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique.

Cette électricité va ensuite subir plusieurs transformations avant d'être compatible avec le réseau électrique français.

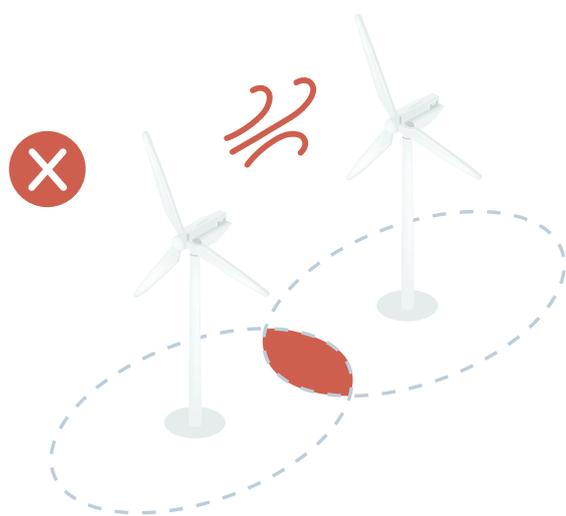
Dans la pratique on parle de perte de production, l'énergie récupérable dans le vent n'est pas entièrement transformée et injectée sur le réseau électrique, une petite partie est perdue.

Énergie électrique finale < Énergie du vent



Toute installation de production d'énergie a des pertes par rapport à son potentiel maximal. Ces pertes varient selon le type de technologie, mais le principe est le même partout.

Par exemple, une centrale nucléaire peut devoir réduire sa production en période de sécheresse. Si les rivières sont trop chaudes ou trop basses, elle ne peut plus suffisamment refroidir les systèmes sans nuire à l'environnement. De son côté, une centrale solaire produira moins s'il y a de l'ombre sur les panneaux.



Quand plusieurs éoliennes sont proches, celles placées derrière reçoivent un vent plus turbulent, donc elles produisent moins. On appelle ceci une perte due au sillage ou bien effet de sillage.



Cela peut aussi se produire s'il y a, par exemple, une forêt à proximité d'une éolienne.

Des modèles de calcul permettent de prendre en compte les effets de sillage dès la phase de conception d'un projet. Cela permet d'anticiper son impact et de le réduire au maximum.

## Pertes de disponibilité

Une éolienne peut, à l'instar de toute autre machine, subir une panne ou être soumise à une opération de maintenance : l'éolienne est arrêtée, donc elle ne produit rien.

### → Pertes électriques

Comme toute installation électrique, une petite partie de l'énergie est perdue dans les câbles ou les équipements.

On parle régulièrement « d'effet Joule », l'énergie qui traverse les câbles électriques chauffe ce même câble, de l'énergie électrique est alors perdue et transformée en chaleur.

### → Pertes de performance

Comme toute machine, une éolienne perd en performance au fur-et-à-mesure des années.

Une perte de performance d'une éolienne peut, par exemple, être due à des pales sales (poussière, insectes, givre), abîmées ou moins lisses, ce qui réduit leur vitesse rotation.

## → Pertes dues à des bridages

Le bridage d'une éolienne consiste à réduire la vitesse de rotation de ses pales, voir à arrêter complètement l'éolienne dans le but de préserver la biodiversité autour du site ou encore de respecter les réglementations en vigueur pour l'acoustique et les effets visuels. Les pertes dues aux différents bridages représentent donc l'énergie qui n'est pas produite lors de l'application des plans de fonctionnement particuliers.

### Bridage lié à l'ombre portée .....

En fonction de l'angle et de la position du soleil, une éolienne crée une zone d'ombre qui se déplace au fur et à mesure de la journée. Cette ombre et son effet stroboscopique peut être dérangeante pour les personnes qui vivent à proximité. L'éolienne est donc mise à l'arrêt. Ce bridage n'est effectué que lorsqu'il y a du soleil et selon l'angle et la position du soleil. **Ces arrêts sont facilement prévisibles et sont généralement courts.**

### Bridage lié aux chauves-souris .....

Les chauves-souris volent surtout la nuit, quand il fait doux et qu'il n'y a pas trop de vent. Afin d'éviter toute collision avec les chiroptères, les éoliennes sont automatiquement bridées lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- **Vent faible** (en général moins de 6 m/s)
- **Température douce** (souvent au-dessus de 10°C)
- **Périodes sensibles** (surtout au printemps et à l'automne, pendant les migrations ou la reproduction)

### Bridage lié aux oiseaux .....

Les études avifaunes préalables à l'installation d'un parc éolien, identifient les espèces d'oiseaux présentes ainsi que leur comportement. Le bridage des éoliennes peut ainsi être prévu en **période de migration ou de nidification** pour protéger les oiseaux d'éventuelles collisions. Ce bridage est souvent court, ciblé, et basé sur la présence réelle ou prévisible des oiseaux.

**Le saviez-vous?**

Plusieurs avancées technologiques, tels que les radars et les caméras équipées d'intelligence artificielle, ont permis d'optimiser les périodes de bridage des éoliennes tout en préservant l'avifaune et les chiroptères.

### Bridage lié à l'acoustique .....

Le bruit des éoliennes provient principalement du mouvement des pales dans le vent. Dans certaines conditions, notamment météorologiques, ce bruit peut atteindre un niveau suffisamment élevé pour devenir gênant pour les personnes vivant à proximité. Dans ce cas, la vitesse de rotation du rotor est réduite, ce qui limite la production d'électricité de l'éolienne. **Cette mesure permet de diminuer le bruit tout en respectant les normes environnementales et le confort des riverains.**

### Bridage lié au givre .....

On peut arrêter une éolienne quand il y a du givre pour deux raisons principales :

- **Le givre peut se former sur les pales.**  
Quand l'éolienne redémarre ou tourne, des morceaux de glace peuvent se détacher et être projetés à grande vitesse. Ce qui peut être dangereux pour les personnes, les véhicules ou les bâtiments proches.
- **Le givre peut modifier la forme des pales**  
Cela réduit leur efficacité. L'éolienne peut alors tourner de façon instable, ce qui peut abîmer les composants mécaniques.

# Éolien et biodiversité

## Étudier la biodiversité\* locale : un sujet pris en compte très en amont

\* Biodiversité : diversité des espèces vivantes (micro-organismes, végétaux, animaux) présentes dans un milieu.

Toute activité humaine, telle que la construction de routes ou de lignes électriques, impacte la biodiversité locale. Il en va de même pour l'exploitation d'un parc éolien.

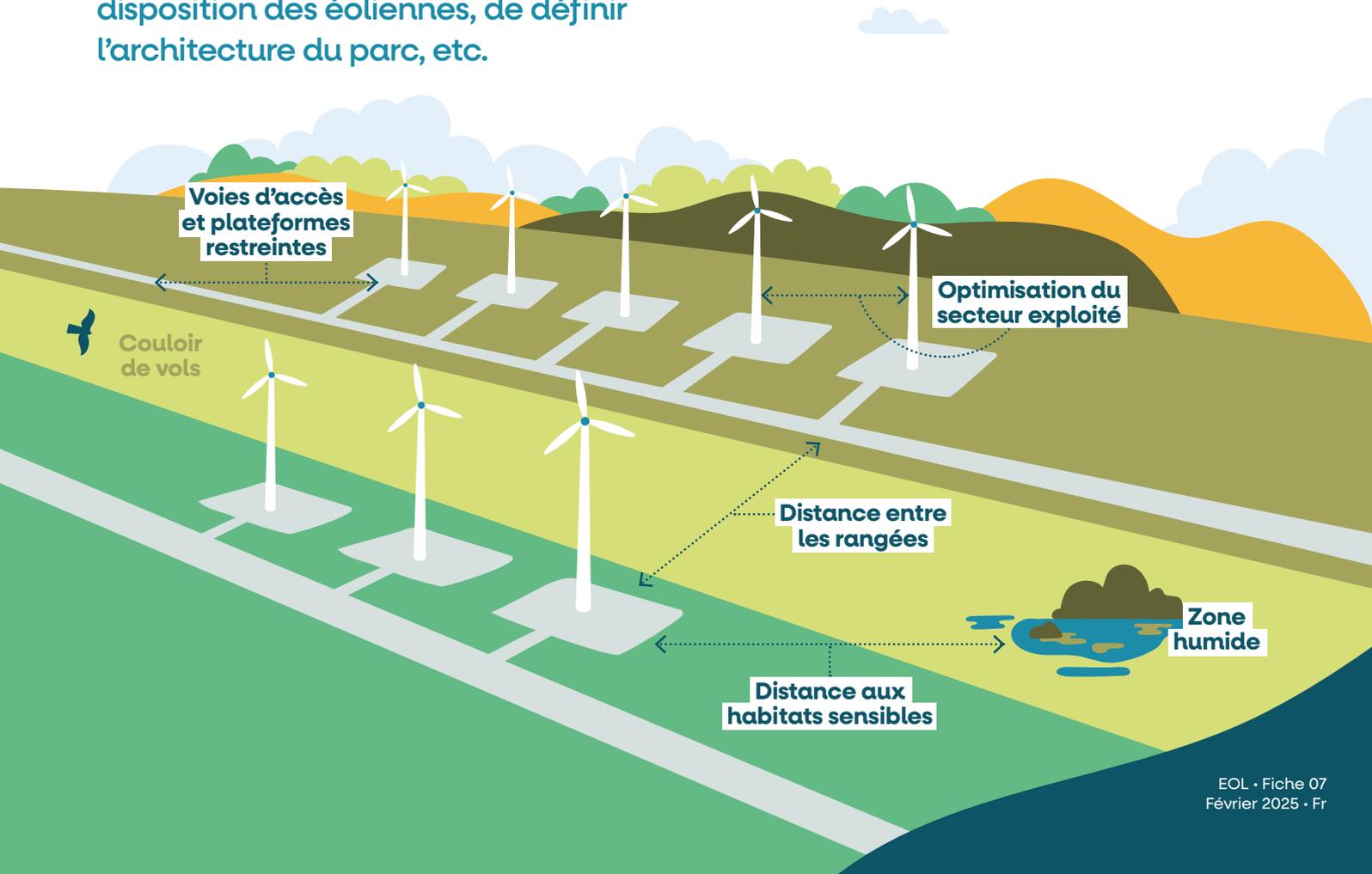
C'est pourquoi, pour chaque projet éolien, une étude d'impact est réalisée afin d'analyser les effets potentiels sur la biodiversité sur, ou à proximité, du site envisagé (comportement, habitudes de déplacement, alimentation, nombre d'individus, types d'habitats), pour déterminer les impacts éventuels.

**Les résultats de cette étude permettent d'identifier le projet le plus équilibré, de déterminer l'emplacement et la disposition des éoliennes, de définir l'architecture du parc, etc.**

L'étude de la biodiversité locale est réalisée par des bureaux d'études experts et indépendants. Son contenu vise à :

- Définir les aires d'études pertinentes ;
- Identifier les milieux et espèces présents sur le site et à proximité ;
- Comprendre le fonctionnement et la dynamique des populations locales ;
- Caractériser leurs enjeux écologiques
- Définir le projet en cohérence avec les enjeux identifiés

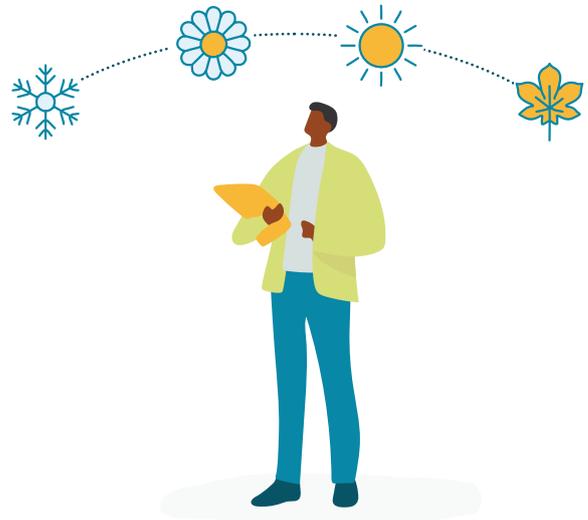
L'ensemble de ces analyses est réalisé selon des protocoles scientifiques reconnus par les pouvoirs publics.



# Quelle méthode ?

L'étude écologique s'effectue sur un cycle biologique complet afin de disposer d'un échantillonnage représentatif des espèces présentes sur et à proximité du site.

- L'ensemble des données disponibles est collecté (inventaires scientifiques, données associatives, documents d'aménagement et d'urbanisme, etc.) ;
- Ces données sont enrichies par des observations de terrain dédiées, réparties tout au long de l'année afin de recenser finement les enjeux biologiques à considérer dans la définition du projet. Des préconisations sont ensuite émises afin d'adapter et de limiter les impacts potentiels du projet sur son environnement.



## Le suivi environnemental en phase d'exploitation

Des suivis biologiques sont réalisés de manière régulière tout au long de l'exploitation du parc.

Les suivis permettent d'observer l'évolution de l'environnement afin de s'assurer de l'efficacité des mesures mises en œuvre, ou de les ajuster si nécessaire.



# Les analyses menées

## La flore & les habitats naturels

L'analyse du site recense les espèces végétales et leur niveau de sensibilité et caractérise les habitats présents.

Les éoliennes n'ont pas d'impact significatif sur la flore locale : les espèces rares ou fragiles peuvent être protégées du piétinement pendant le chantier et, une fois l'installation du parc terminée, le sol du site est préservé.



## Les oiseaux & les chauves-souris

Les observations sont réalisées par des ornithologues et chiroptérologues afin de collecter des données importantes sur l'activité des oiseaux et chauves souris. Une multitude d'outils est utilisée par les spécialistes pour identifier et caractériser l'activité des espèces présentes :

- **Micros d'enregistrements** ultrasonores afin de détecter la présence et identifier les espèces de chauves-souris fréquentant le secteur,
- **Radars** afin de préciser l'activité des oiseaux ou chauves-souris de jour comme de nuit,
- **Caméras** afin de décrire les espèces d'oiseaux présentes, leurs trajectoires, leurs comportements, etc.



## La petite faune

Les prospections pour les petits mammifères sont basées sur des recherches d'indices de présence (empreintes, fèces, restes de repas, terriers) et sur des contacts directs visuels ou sonores de jour et de nuit.

Différents protocoles existent également pour les amphibiens, les reptiles, etc.



# La doctrine :

## éviter • réduire • compenser

Des systèmes de détection de l'avifaune et des chauves-souris existent depuis plusieurs années. Ces dispositifs de vidéo-surveillance permettent de limiter les risques de collision.

Lorsque la faune volante est détectée dans la zone de risque, le système engage des actions d'effarouchement et/ou de bridage des éoliennes, c'est à dire de ralentissement des pales jusqu'à une vitesse non accidentogène, ou l'arrêt des éoliennes afin d'éviter le risque de collision.

Les mesures de compensation peuvent permettre de créer ou recréer des zones favorables au développement de la biodiversité ou d'espèces spécifiques près de la zone du projet.

Les coûts de ces mesures, comme celui des études, est assuré par le maître d'ouvrage, futur exploitant du parc éolien.

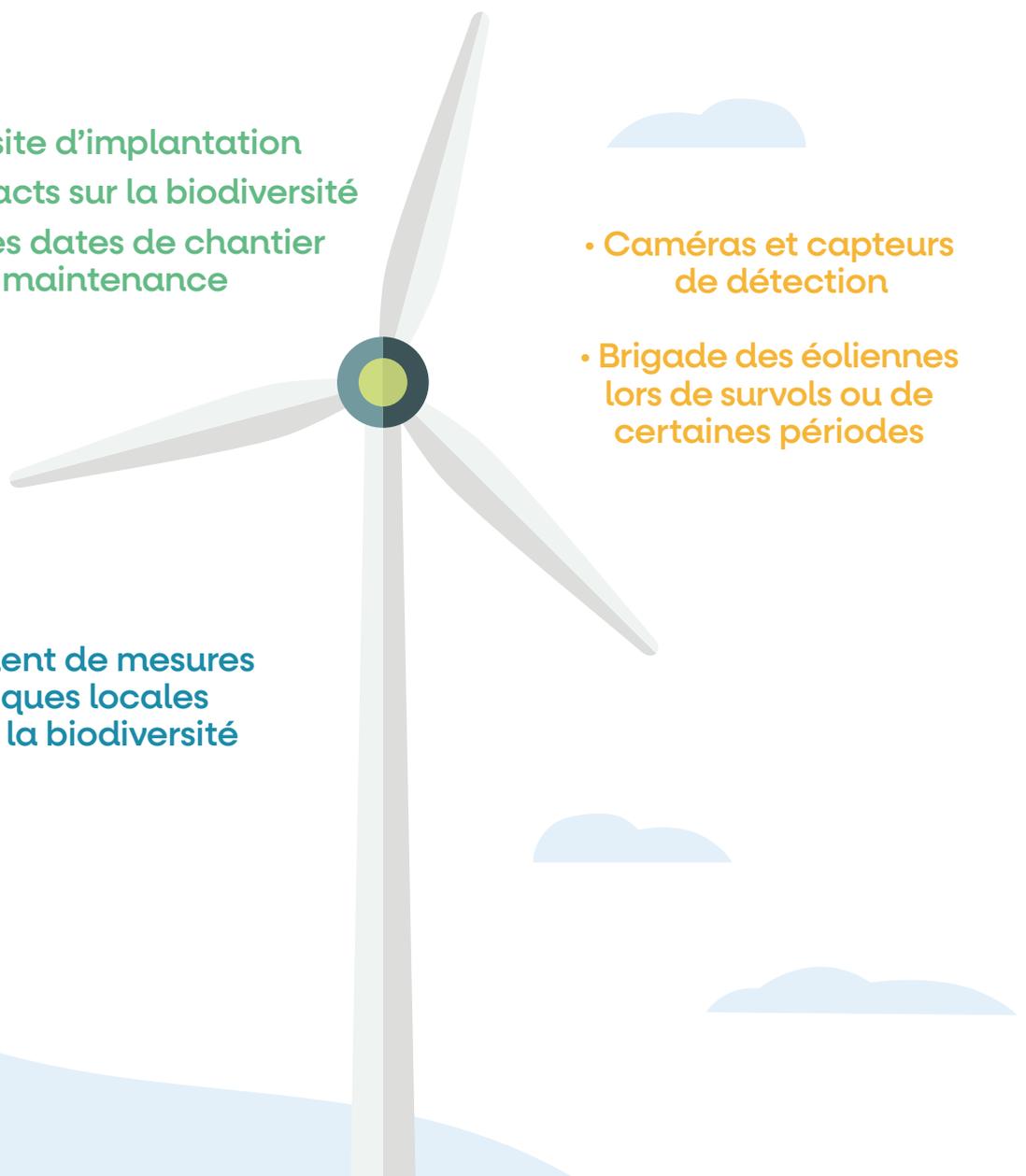
Études des comportements et partage des données avec les associations environnementales.

- Choix du site d'implantation
- Études d'impacts sur la biodiversité
- Optimiser les dates de chantier et de maintenance

- Caméras et capteurs de détection

- Brigade des éoliennes lors de survols ou de certaines périodes

- Financement de mesures écologiques locales favorisant la biodiversité

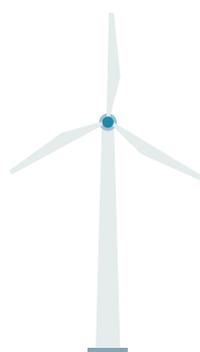


# Les éoliennes dans le paysage

Depuis nos origines, l'humain a toujours modifié son environnement et les paysages avec certains édifices et infrastructures nécessaires pour répondre à ses besoins : production de nourriture, habitat, irrigation, déplacement, énergie...

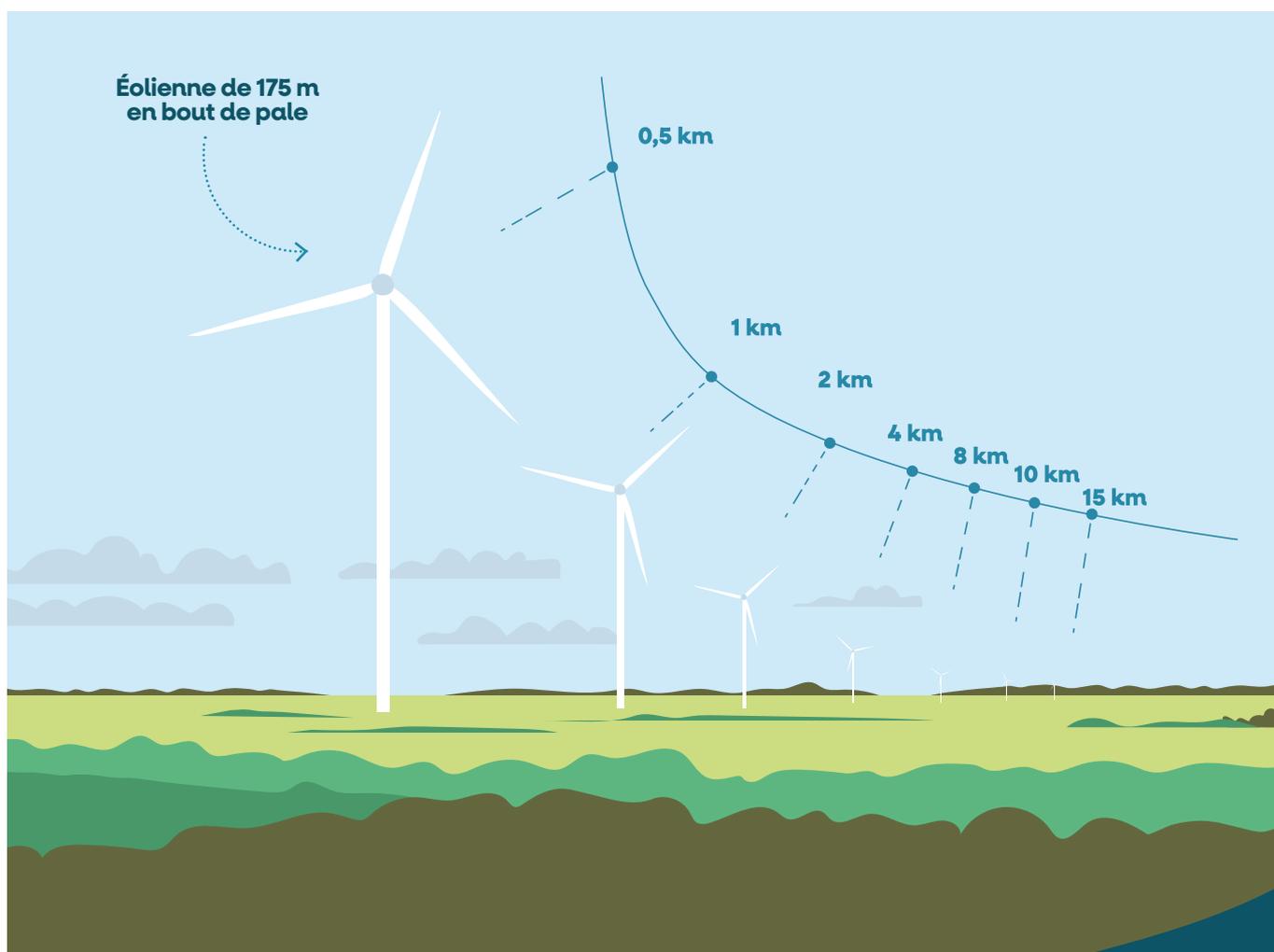
Depuis l'après-guerre, la production d'énergie s'est éloignée de notre quotidien : le pétrole et le gaz sont importés, tandis que le nucléaire est concentré sur quelques sites.

Aujourd'hui, pour garantir l'autonomie énergétique, la sécurité des territoires et accompagner l'électrification des secteurs les plus polluants, comme les transports, il devient essentiel de produire l'électricité au plus près des consommateurs.



Avec des dimensions parfois supérieures à 150 mètres de hauteur, les éoliennes rendent alors concrète et matérielle notre production d'électricité comme cela fut le cas dans le passé

avec la construction des réseaux de lignes à haute-tension ou les châteaux d'eau pour sécuriser l'approvisionnement en eau.



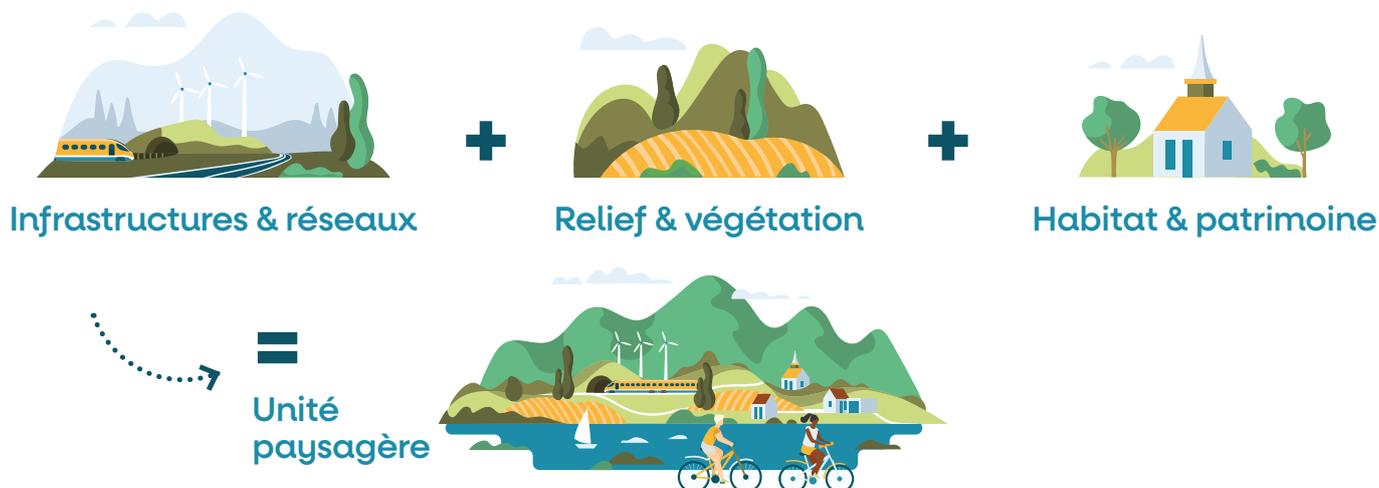
# Comment définir une implantation d'éoliennes en harmonie avec son territoire ?

Dans nos campagnes, nous nous sommes habitués, aux châteaux d'eau ou aux lignes à haute-tension qui sont nécessaires pour soutenir notre développement.

L'analyse du paysage repose sur notre perception visuelle, sur notre culture, notre attachement au lieu, notre histoire... **Le paysage est avant tout une question de ressenti.**

Cela n'en réduit en rien l'importance, mais souligne son caractère profondément subjectif.

- Définir les qualités paysagères d'un territoire dans différentes aires d'étude
- Recenser et hiérarchiser les sensibilités patrimoniales et paysagères
- Émettre des recommandations pour l'implantation d'éoliennes
- Présenter la variante la plus favorable
- Évaluer les effets visuels produits, ainsi que les effets sur la perception du territoire par les populations



## Préservation du cadre de vie

La préservation du cadre de vie des populations est un enjeu majeur d'un projet éolien. Outre la production d'une énergie propre et bas carbone, les paysages dans lesquels s'insèrent les projets éoliens demeurent au cœur des études de conception.

Les **photomontages** permettent de représenter l'insertion du parc éolien dans son environnement paysager.

L'élaboration des simulations paysagères comporte **3 étapes** :

- **Réalisation de prises de vue sur site**  
(éléments réels)
- **Insertion des futurs équipements**  
grâce à un logiciel dédié  
(éléments virtuels)
- **Représentation du futur paysage**  
avec ses équipements  
(éléments réels + virtuels)



.....

Chaque photomontage s'accompagne d'une indication de la distance théorique à laquelle il convient de le regarder et de l'ensemble des caractéristiques de la photographie ou du cadrage.

.....

Exemple de photomontages réalisés pour divers pour un projet éolien :



le  
saviez-  
vous  
?

Les 10 dernières années, les éoliennes ont grandi de 17% en taille, mais ont augmenté leur capacité de production de 200%.

(Source FEE, <https://fee.asso.fr/eolien-terrestre/>)

## Les coupes topographiques

évaluent la visibilité des éoliennes depuis un point de vue donné.

## La carte des zones d'influence

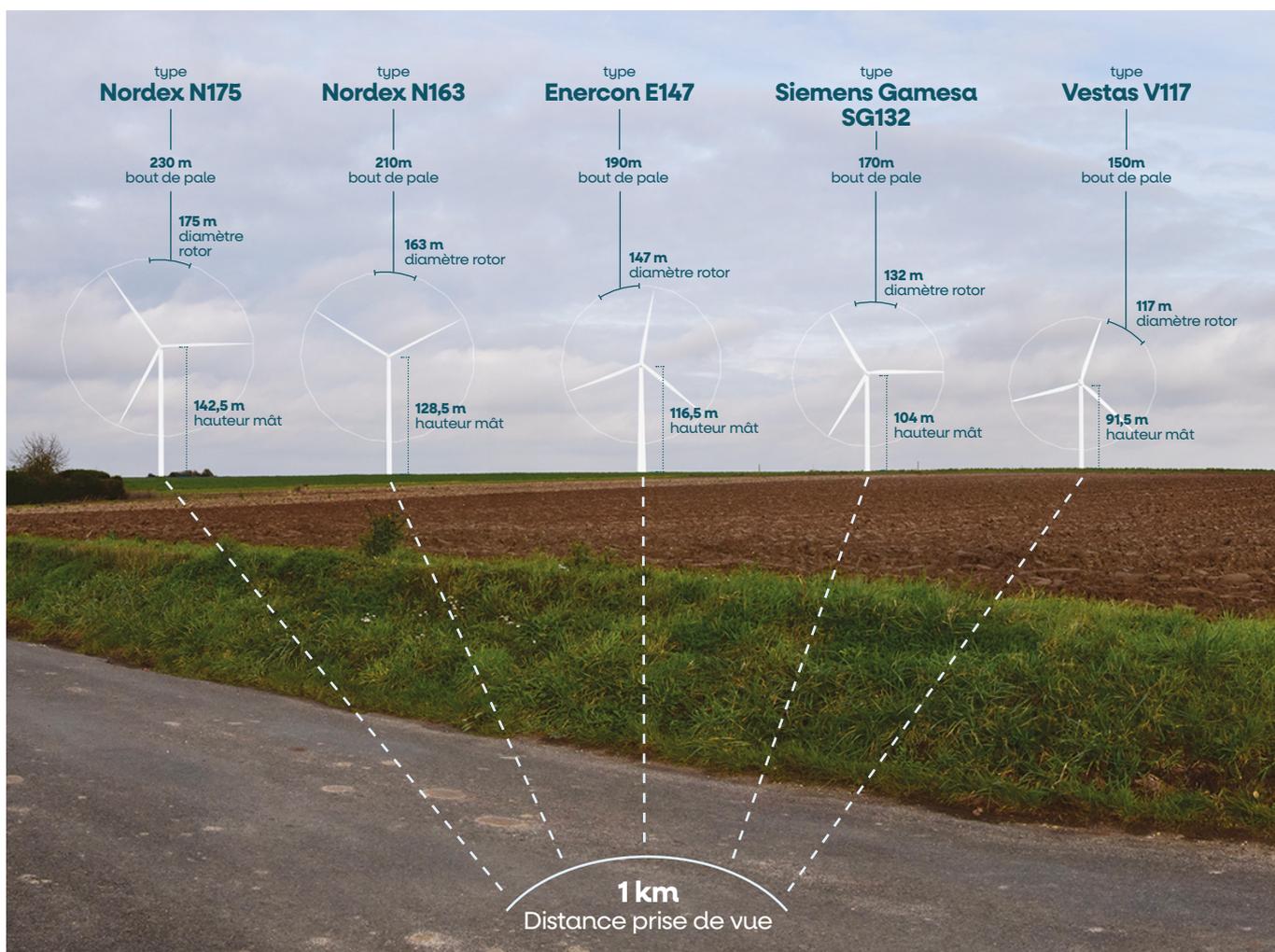
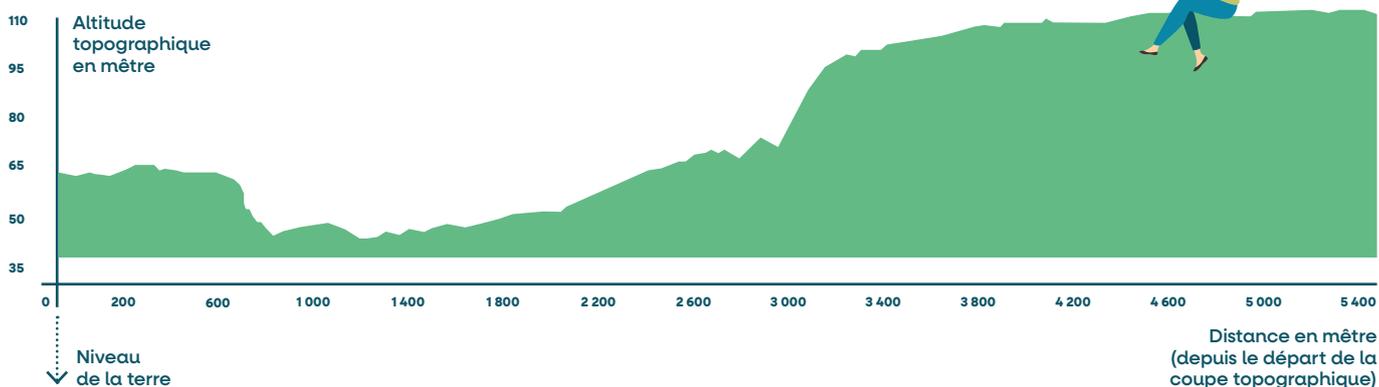
visuelle met en évidence les zones de visibilité du parc en prenant en compte le relief et la végétation

Selon la distance entre l'observateur et le site éolien, l'effet visuel de ce dernier varie et sa prégnance (c'est à dire ici son caractère dominant ou non dans le paysage) s'atténue avec l'éloignement.

L'évolution des perceptions en fonction de la distance n'est cependant pas linéaire.

A l'issue des analyses paysagères, des recommandations seront émises pour l'implantation d'éoliennes.

## Exemple de coupe topographique



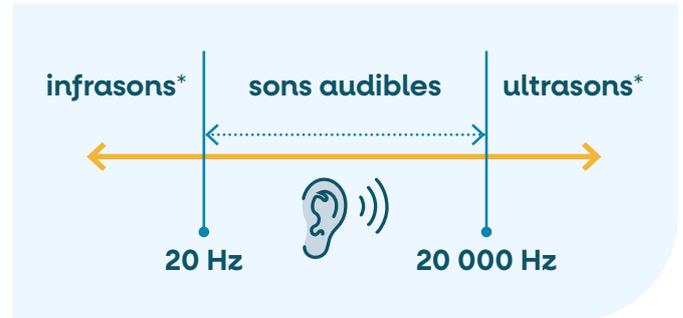
# Comment mesurer le son ?

Le son peut se mesurer selon deux paramètres :

- Par sa **fréquence** en **hertz (Hz)** : le son est plus ou moins grave ou aigu.
- Par son **intensité** en **décibels (dB)** ou **décibels pondérés dB(A)** : le niveau sonore perçu par l'oreille humaine.

\* **Infrasons** : en dessous de 20 Hz notre cerveau n'est pas capable de reconstruire un son

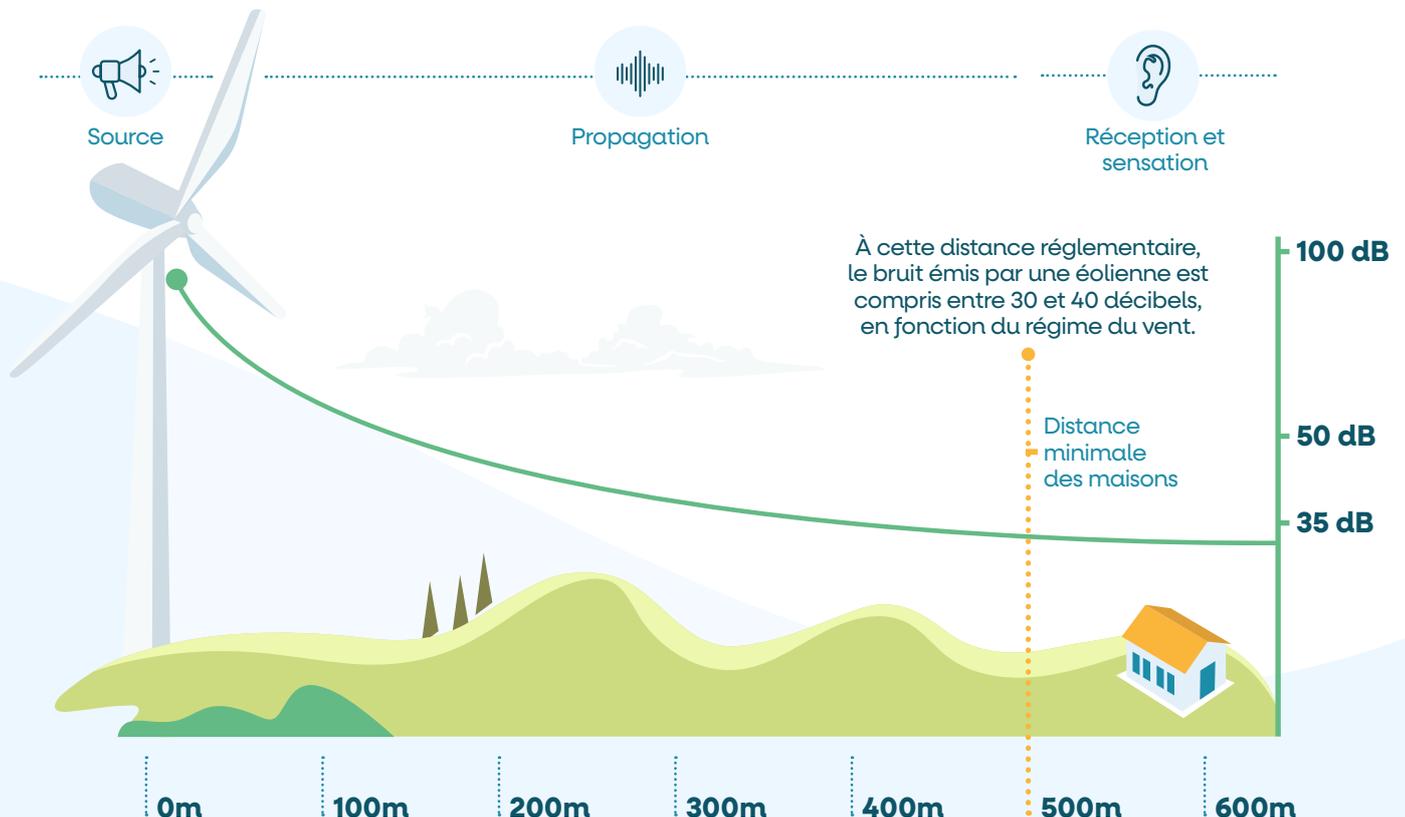
\* **Ultrasons** : à l'inverse, au-delà de 20000 Hz, les sons sont inaudibles



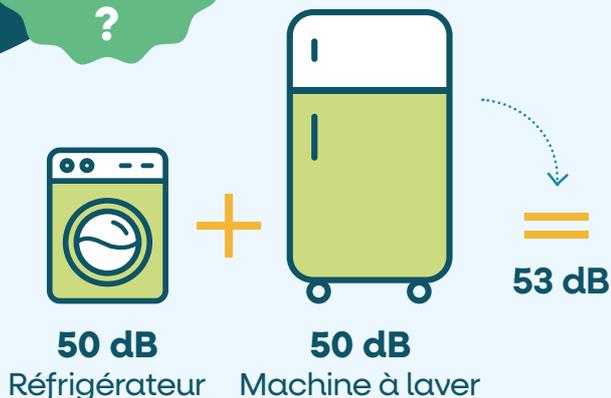
# Comment un son se propage-t-il ?

La propagation du son dépend de différents phénomènes comme :

- Direction du vent
- Effets météorologiques
- Configuration du relief (plaine vs montagne)
- Obstacles (boisements, bâtiments, etc.)
- Types de surfaces :  
Lisse : réfléchissante / Poreuse : absorbante



le  
saviez-  
vous  
?



## 1+1 n'est pas égal à 2 !

Les décibels ne s'additionnent pas de manière arithmétique. On ne peut pas les additionner ou les soustraire comme des nombres normaux. Lorsque le son double, cela correspond à une émission sonore de 3 dB supplémentaire, s'il diminue de moitié, son niveau diminuera de 3 dB.

### Que dit la loi?

Deux types de réglementation limitent le bruit des éoliennes, chacune variant en fonction du niveau d'urbanisation du site et/ou de la période (jour/nuit).

Dans certains pays, comme le Danemark, l'Allemagne, la Belgique ou les Pays-Bas, les lois fixent **un niveau sonore maximum**.

En France, l'acoustique des sites éoliens est règlementé par l'arrêté ICPE du 26 août 2011, applicable, depuis le 1er janvier 2012, à l'ensemble des parcs français. La réglementation impose **le respect de valeurs d'émergences** globales en dB(A) lorsqu'il y a un bruit ambiant supérieur à 35 dB(A). Une émergence sonore de 5 dB est autorisée de jour et de 3 dB de nuit.

### Qu'est-ce que l'émergence sonore?

Imaginez que vous êtes dehors : vous entendez un **bruit de fond** (les oiseaux, les insectes, les voitures au loin, ou bien le vent). Ces sons sont là tout le temps et nous ne les remarquons pas forcément.

Lorsque les éoliennes tournent, elles peuvent faire un bruit régulier. Si ce bruit est plus fort que le bruit de fond, on dit qu'il y a une **émergence sonore**.

Mais parfois, si le vent souffle déjà fort, ou s'il y a d'autres bruits autour (comme une route proche), le bruit des éoliennes ne se remarque presque pas — donc il n'y a pas d'émergence sonore.

« L'émergence sonore, c'est un peu comme remarquer un bruit qui ressort parmi d'autres »

de jour

+ 5 dB (A)  
de 7h à 22h



de nuit

+ 3 dB (A)  
de 22h à 7h



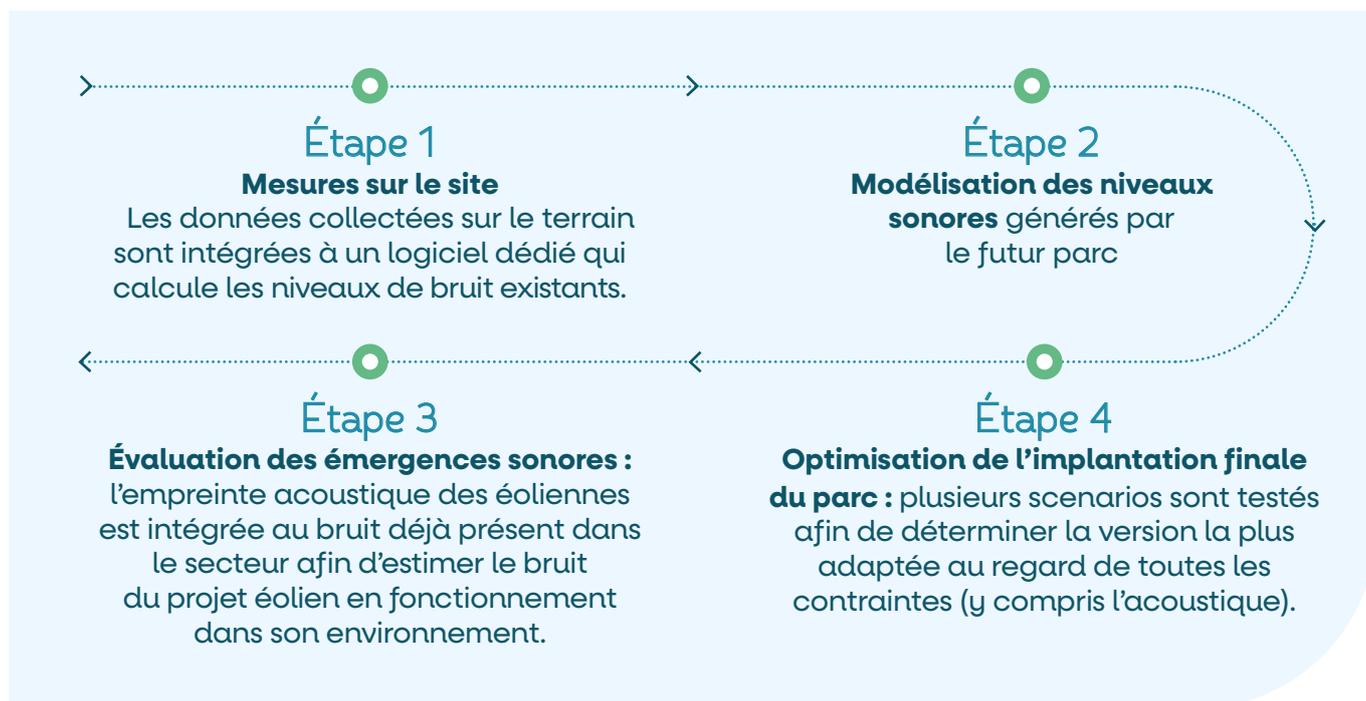
# Comment se déroule l'étude acoustique d'un projet éolien ?

L'étude d'impact environnemental d'un projet éolien inclut obligatoirement une étude acoustique. Celle-ci vise à évaluer les effets sonores du parc éolien sur les riverains les plus proches.

Pour cela, des microphones sont installés à différents emplacements autour de la zone concernée, afin d'effectuer des enregistrements sur plusieurs semaines. Ces mesures tiennent compte de diverses conditions météorologiques, permettant une analyse représentative.

Les calculs d'émergence réalisés à partir des données recueillies permettent de vérifier que les niveaux sonores estimés respectent la réglementation en vigueur sur le bruit.

Les résultats de cette étude acoustique sont ensuite examinés par les services de l'État ainsi que par l'Agence Régionale de Santé (ARS), avant toute mise en service du parc éolien.



## Réduire les émissions sonores

### Réglementation qui tient compte des riverains

Si les niveaux de bruit apportés par les éoliennes sont au-dessus des seuils de la réglementation, des mesures de réduction du bruit seront mises en place, telles que des bridages d'éoliennes.

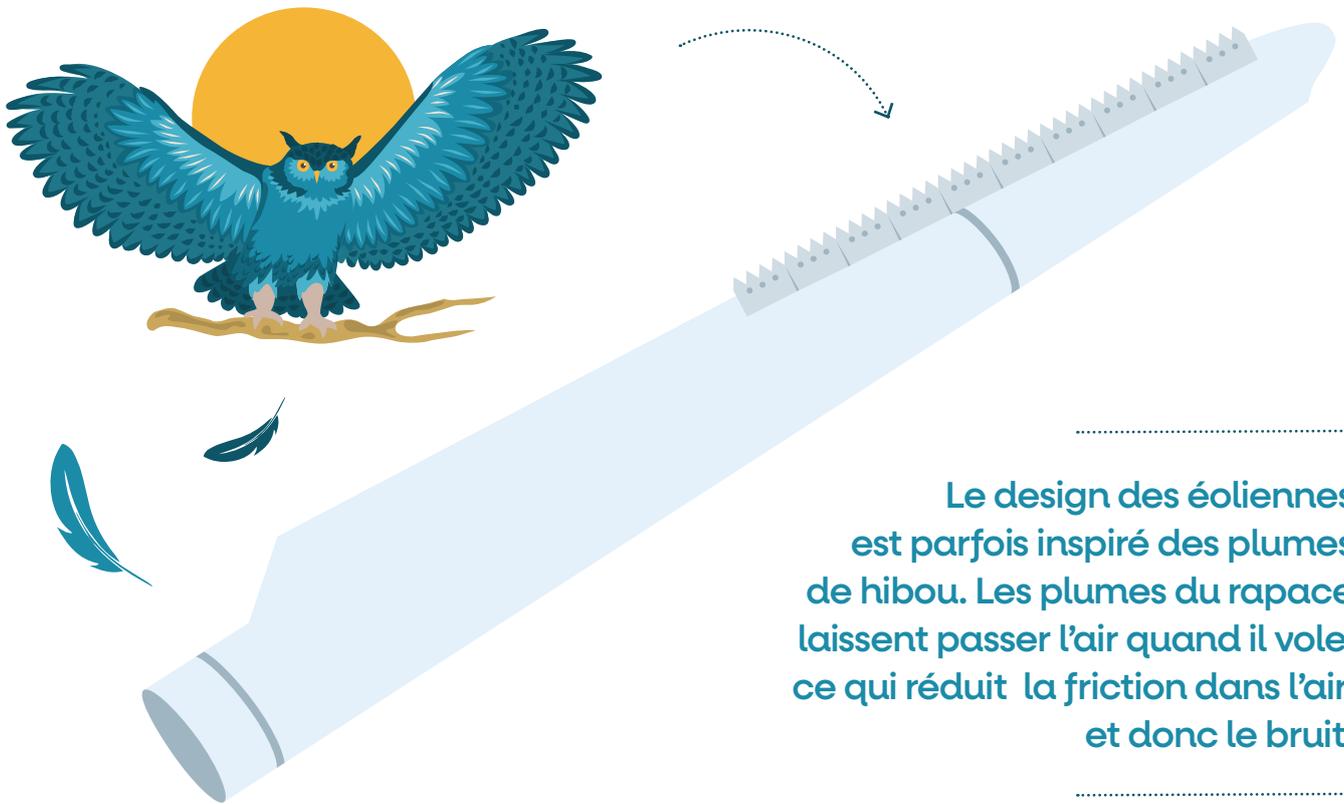
En cas de plaintes de riverains, la réglementation permet au préfet de demander une expertise sur le site. Si celle-ci montre un non-respect de la réglementation, le parc peut être arrêté.

### Dans la pratique, il n'y a jamais eu d'arrêts de parcs pour cause de bruit.

Les développeurs ainsi que les exploitants des sites respectent les seuils fixés par la législation.

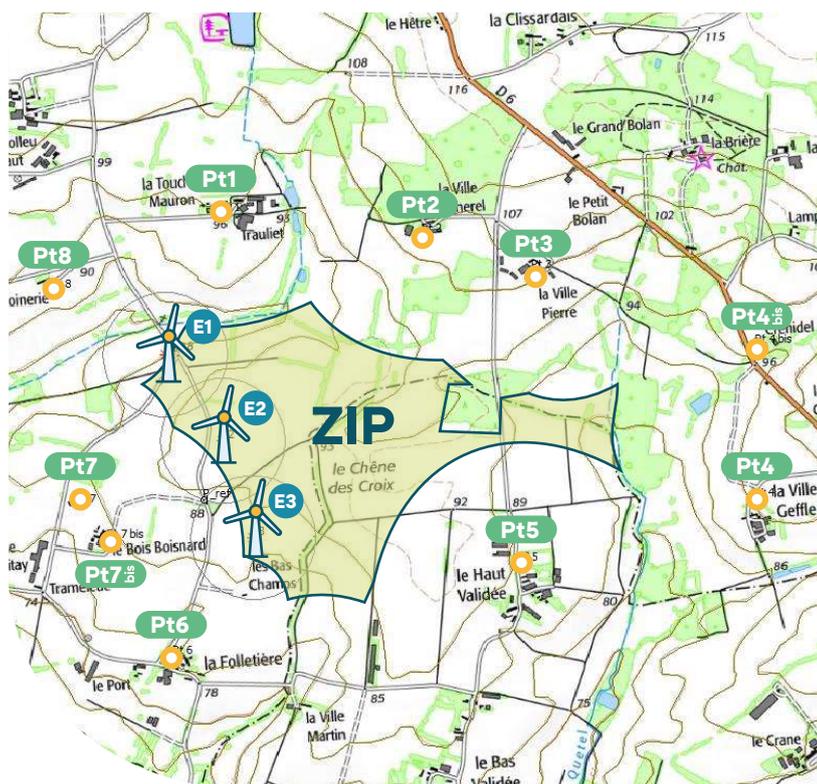


# Biomimétisme : quand la technologie s'inspire de la nature



Le design des éoliennes est parfois inspiré des plumes de hibou. Les plumes du rapace laissent passer l'air quand il vole, ce qui réduit la friction dans l'air, et donc le bruit.

## Suivi acoustique après l'implantation des éoliennes



Une fois le parc éolien construit, la réglementation impose de nouvelles études acoustiques afin d'en assurer le suivi.

Ces suivis permettent de s'assurer du respect de la réglementation sur le bruit, d'analyser l'efficacité des mesures de réduction mises en place et de les adapter en cas de besoin.

Exemple de cartographie pour un projet éolien Renner Energies (France)

### Légende :

- ZIP : Zone d'implantation potentielle
- E : Eolienne
- Pt : Point de mesure (sonomètres)

# L'éolien, une énergie sans risque pour la santé

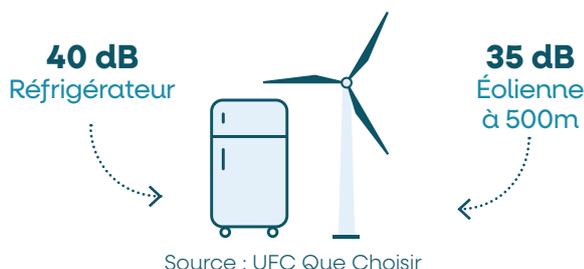
## Des niveaux de bruit limités

Les vibrations entre les pales d'une éolienne et le souffle du vent émettent des bruits de fond. Une éolienne située à 500m d'une habitation produit environ 35 dB. A titre de comparaison, cela correspond au bruit d'un chuchotement ou d'un réfrigérateur.

*« Aucune maladie ni infirmité ne semblent pouvoir être imputées au fonctionnement des éoliennes »*

(Académie Nationale de Médecine, Rapport du 3 mai 2017)

Les études scientifiques montrent que l'intensité du bruit éolien est faible et « en-deçà de celles de la vie courante » dans une habitation.



Les données disponibles issues des retours d'expériences depuis près de 30 ans « ne mettent pas en évidence d'argument scientifique suffisant en faveur de l'existence d'effets sanitaires directs liés aux expositions au bruit des éoliennes ».

(Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), 2017)

## Infrasons à faible niveau sans risque

Les infrasons correspondent aux sons émis à très basse fréquence, en dessous de 20 hertz (Hz), et imperceptibles à l'oreille humaine. Les sources naturelles et artificielles d'infrasons à différents niveaux ne manquent pas au quotidien : les vents, le lave-linge en phase d'essorage, les ondes WiFi, etc.

Différentes études concluent que le niveau des infrasons émis par les éoliennes ne présente pas de danger pour l'homme :

- La production d'infrasons par les éoliennes est, à leur voisinage immédiat, **bien analysée et très modérée** et sans danger pour l'homme.  
Académie de médecine, rapport de 2006
- Il n'existe pas de risque sanitaire pour les riverains spécifiquement liés à leur exposition à la part non audible des émissions sonores des éoliennes (infrasons).

Source : ANSES, 14 février 2017

Les niveaux d'infrasons aux habitations proches des éoliennes ne sont pas plus élevés que ceux rencontrés dans les autres environnements urbains ou ruraux.

La contribution des éoliennes aux infrasons est insignifiante comparée au niveau des infrasons ambiants.

Agence de l'Environnement de l'État d'Australie du Sud Janvier 2013



## Des champs électromagnétiques très faibles

Le champ électromagnétique est une combinaison de champs électriques et magnétiques. Le champ électromagnétique peut être soit naturel (champ magnétique terrestre) soit lié à l'activité humaine (électroménager, télévision, lignes électriques, éoliennes, etc.).

L'intensité de ces champs varie notamment selon le type et les distances des sources d'émission.

L'intensité des champs électromagnétiques décroît proportionnellement au cube de la distance, ce qui la rend rapidement négligeable, habituellement au-delà de 2 m.

### Que dit la réglementation ?



Concernant les éoliennes, la réglementation prévoit que « l'installation est implantée de telle sorte que les habitations ne sont pas exposées à un champ magnétique émanant des aérogénérateurs supérieur à 100 microteslas à 50-60 Hz ».

La valeur limite de 100 microteslas protège des atteintes à la santé scientifiquement reconnues. Au pied d'une éolienne, la densité de flux magnétique mesuré ne dépasse généralement pas les valeurs de 5 microteslas.

Le niveau de champ magnétique au niveau des éoliennes, et a fortiori au niveau des habitations situées à minimum 500 m des éoliennes, assure donc très largement la limite de protection.

### Un effet positif sur la qualité de l'air

L'énergie éolienne est une production d'énergie bas carbone qui ne rejette aucune particule fine dans l'atmosphère et contribue donc à améliorer la qualité de l'air.

« L'éolien terrestre présente indubitablement des effets positifs sur la pollution de l'air et donc sur certaines maladies (asthme, BPCO, cancers, maladies cardio-vasculaires) ».

Source : Académie Nationale de Médecine, Rapport du 3 mai 2017

