

# Écovent

# Le futur de l'énergie ?

L'éolien au centre des  
débats

COMPARAISON

ENERGIE

BIODIVERSITÉ

# Sommaire

**Fonctionnement de l'éolienne** p.3

**Dossier 1: ANALOGIE** p4

- Entre terre et mer
- Comparaison Posée-Flottante
- Le photomontage: un outil de valorisation ou de communication ?

**Dossier 2: ENERGIE** p.9

- Comment une éolienne en mer produit-elle de l'énergie?
- L'éolien marin ! Comment et quel rendement ?
- Une énergie 100% renouvelable est-elle envisageable à l'avenir ?
- Comment l'électricité produite en mer arrive-t-elle sur terre ?

**Dossier 3: IMPACTS SUR LA BIODIVERSITE** p.13

- Impacts sur les oiseaux
- Impacts sur la vie sous-marine
- Zoom : Etude de l'impact des champs électromagnétiques

**Informations UPEC et DUT GB** p.18

**Bibliographie** p.19

## Fonctionnement de l'éolienne

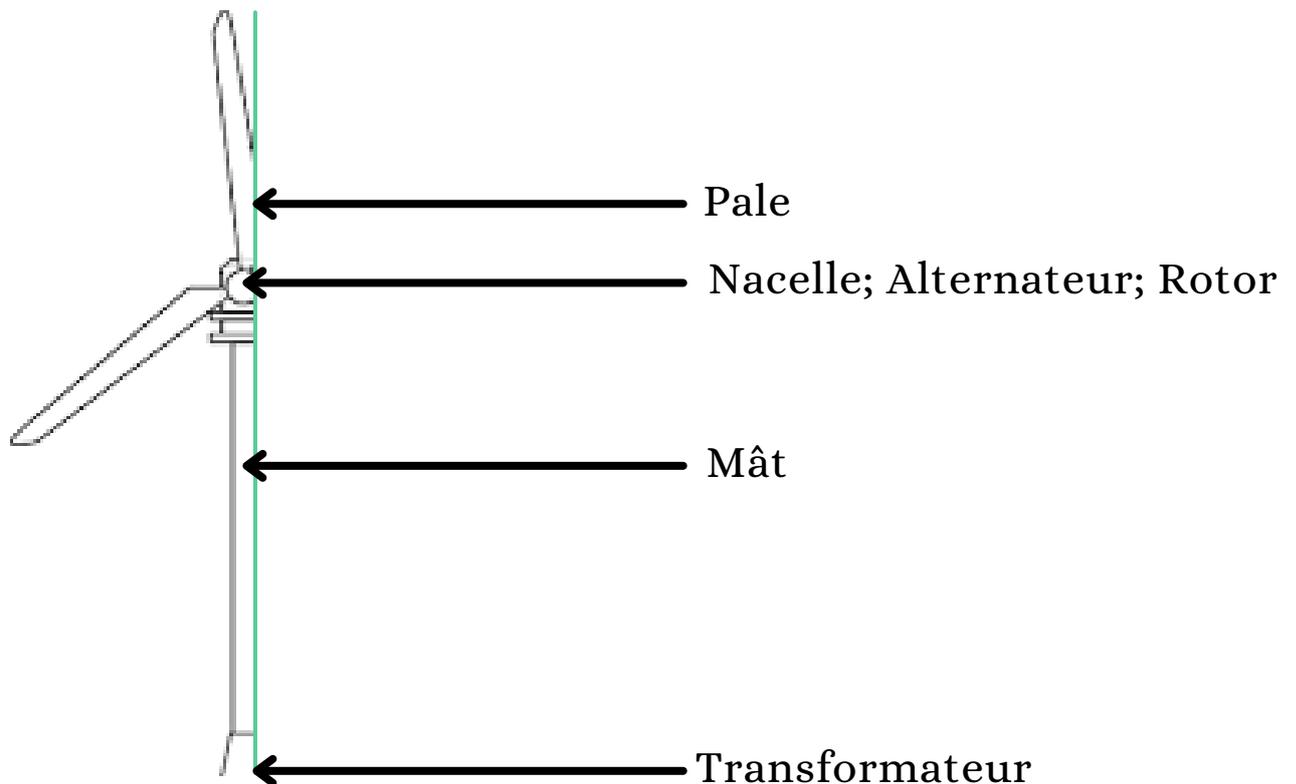


Schéma d'une éolienne:

### **Mais qu'est-ce qu'une éolienne et comment la puissance du vent la fait marcher pour produire de l'énergie?**

Sous l'effet du vent, le rotor, situé au bout d'un mât, se met en marche et les pales reliées au mât commencent à tourner. Suivant le type d'éoliennes, le mât varie entre 10 et 100 m de haut et le rotor comporte généralement 3 pales plus larges que celles des éoliennes terrestres car, plus la surface brassée d'air est importante, plus la puissance de l'éolienne est grande. Le rotor entraîne alors un axe dans la nacelle, appelé arbre, relié à un alternateur.

Un mât de 10 à 100  
mètres de haut !!

Grâce à l'énergie fournie par la rotation de l'axe, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Sa tension est ensuite élevée par un transformateur pour être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau. L'énergie produite est ensuite transportée par des câbles jusqu'au territoire continental pour alimenter les maisons en électricité.

# Dossier ANALOGIE



Ralentir le changement climatique, réduire l'émission de CO<sub>2</sub>, économiser les ressources fossiles et s'alimenter en énergies plus respectueuses de la vie, sont des besoins croissants depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui devenus urgents, ils ont fait émerger une volonté collective et internationale d'une transition énergétique.

Pour l'accélérer, les ingénieurs cherchent différentes alternatives pour optimiser la production d'énergies renouvelables. Après avoir développé l'éolien sur la terre ferme, ils ont envisagé des éoliennes en mer mais la problématique de la profondeur marine s'est posée. Deux types d'éoliennes marines ont donc été successivement pensés: celles posées sur des socles en béton puis celles, encore expérimentales, qui flottent.

Mais d'autres voient encore le jour !

# Entre terre et mer

Le contexte environnemental pousse le domaine de l'éolien à se tourner vers la mer. Cette direction implique un certain nombre de questions qu'il convient de soumettre au débat public. Dans cet article, nous nous interrogerons sur ce qui différencie les éoliennes terrestres de leurs cousines maritimes.

En mer comme sur terre, le fonctionnement d'une éolienne est le même. On peut donc se demander ce qui les différencie des éoliennes terrestres, autrement que leur position.

Quelles sont les spécificités des éoliennes installées au large de nos côtes ?

L'avantage des parcs éoliens offshore est qu'ils génèrent plus d'électricité que leurs homologues terrestres. L'absence d'obstacle (p.ex: habitations, forêt, etc...) et la diminution des turbulences ne freine pas les vents, permet à la vitesse de rotation d'être plus soutenue et régulière, et augmente instantanément la puissance électrique générée. De plus, la surface d'implantation étant plus vaste en mer que sur terre, les éoliennes peuvent donc y être plus imposantes.

Les parcs éoliens en mer ont aussi la capacité de fournir plus de foyers en énergie renouvelable. Sur terre, la construction de parcs éoliens se voit freinée par le manque de terres exploitables à bas coûts et proches de grandes villes : plus un terrain en est proche, plus son coût est élevé. La disponibilité de transports routiers capables de déplacer des éoliennes imposantes freine également leur essor. A l'inverse, ces contraintes sont palliées par la nature du terrain et l'acheminement par bateaux pour des parcs éoliens en mer.

Un dernier avantage est que le bruit généré par les parcs éoliens marins ne parvient pas jusqu'aux habitations de bord de mer.

En mer comme sur terre, le fonctionnement d'une éolienne est le même... On peut donc se demander ce qui les différencie des éoliennes terrestres, autrement que leur position.

Mais l'éolien offshore présente tout de même certains inconvénients.

Le défaut principal d'un parc éolien offshore est son prix. Le coût total de conception, d'installation et de maintenance est supérieur à celui d'un parc terrestre. Les câbles sous-marins acheminant l'électricité générée sont plus coûteux, l'installation et la maintenance nécessitent des outils et navires spécifiques, et la conception propre à chaque site d'implantation demande l'expertise d'ingénieurs qualifiés dans le domaine. Les conditions météorologiques peuvent également retarder les installations et la mise en fonctionnement. Toutes ces contraintes peuvent doubler, voire tripler le coût final de l'éolien en mer.

Quant à la pollution visuelle, malgré l'éloignement des éoliennes depuis le rivage, certains habitants estiment que ces grandes dames d'acier au large de leurs côtes, impactent le charme de leur station balnéaire. Certains propriétaires fonciers craignent également que la modification du panorama ne fasse baisser la valeur immobilière de leur propriété.

Il existe également des éoliennes flottantes, appelées EOF pour *éoliennes offshore flottantes*. Seules ou groupées sur une même structure, elles permettent d'exploiter des zones où les fonds marins sont plus profonds. Leur production est supérieure car elles peuvent se trouver bien plus au large des côtes, à des endroits où les vents sont plus importants et plus stables. Le prix de l'éolien flottant sur le papier est quant à lui sensiblement moins cher que celui de l'éolien posé.

Les différences entre les parcs éoliens marins et terrestres sont donc nombreuses, malgré que leur principe de fonctionnement soit similaire. Bien que le coût de la technologie en mer soit plus élevé, cela n'entrave pas son expansion, tant son rendement est supérieur. Dans la course à l'utilisation du vent pour combler nos besoins énergétiques, de nouvelles technologies émergent, visant à optimiser encore plus l'exploitation de cette forme d'énergie. Qu'elle ait les pieds sur terre dans le creux d'une vague, la technologie vortex est un exemple de ce à quoi pourrait ressembler l'éolien du futur. Affaire à suivre ...

# Comparaison Posée-Flottante

Le choix entre les deux variantes marines se fait par rapport à la profondeur. En effet, les éoliennes posées prédominent lorsque nous ne dépassons pas les 50 mètres de profondeur tandis que les flottantes sont majoritaires au-delà de cette valeur.

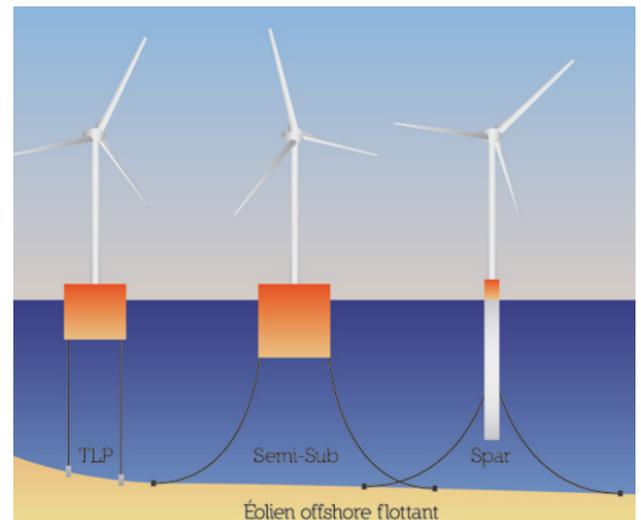
## Qu'est-ce qu'une éolienne posée ?

L'éolienne posée est directement construite dans le plateau continental avec des fondations qui ressemblent globalement à celles des éoliennes terrestres. Ceci est possible lorsque le plateau se trouve à une profondeur maximale de 50 mètres. Après cette profondeur, cette technique devient irréalisable car elle ne permet plus une efficacité dans la fixation.



## Qu'est-ce qu'une éolienne flottante ?

Les éoliennes flottantes sont posées sur une structure flottante attachée au sous-sol marin par des câbles, de même que les balises de signalisation maritime dans les zones portuaires. Cette technique peut être adaptée à des profondeurs allant jusqu'à 300 mètres ce qui fait qu'elles sont plutôt au stade de prototype pour la recherche d'une meilleure productivité car plus on rentre en mer, plus les vents augmentent en force.



## Comment ces éoliennes affectent-elles les écosystèmes locaux et l'environnement ?

Les éoliennes ont une durée de vie d'environ 20 ans au cours desquels elles doivent être installées, désinstallées et entretenues. Leur fabrication sous-entend une légère émission de CO<sub>2</sub>. Leur installation vient perturber un milieu naturel (d'avantage avec les éoliennes posées) qui a besoin d'une période de rétablissement. De plus, pendant leur utilisation, la faune aérienne (en particulier) se voit affectée par ces énormes infrastructures. D'autre part, en fin de vie, l'éolienne flottante ne laisse aucun résidu, contrairement à l'éolienne posée, même si ces résidus peuvent servir comme récifs pour de nombreuses espèces.

## En conclusion...

Ces deux types d'éoliennes maritimes ont chacun leur raison d'exister. Pour un déroulement optimum, les projets d'énergie renouvelable maritime doivent s'adapter à des contextes différents pour garantir un coût d'installation minimum, un rendement énergétique maximum et un impact environnemental minimal. Ces innovations favorisent la transition énergétique.

# Le photomontage: un outil de valorisation ou de communication ?

Lorsque qu'un projet impacte l'aspect visuel d'un paysage, une «étude de l'impact environnemental» doit être réalisée par le maître d'ouvrage. Dans le cadre d'un projet de parc éolien en mer, l'étude paysagère concerne l'implantation d'éoliennes dans le paysage maritime et repose sur un outil de perspective, le photomontage.

Appliqué aux futurs parcs éoliens, il s'agit d'introduire numériquement des éoliennes sur une photo du site d'implantation à l'aide d'un logiciel spécialisé. Utilisé pour informer et mesurer l'acceptabilité d'un projet par une population locale, le photomontage doit être une projection précise et objective. Pour cela, il est réalisé par une expertise paysagiste selon une méthode bien définie. Nous vous expliquons ici comment sont faits les photomontages de parcs éoliens.

## 1ère étape: Création du support visuel: de la simple photographie au panorama.

Le support visuel est la première étape indispensable au photomontage. Réalisée par le paysagiste du bureau d'étude en charge, elle consiste à prendre plusieurs photographies du site d'implantation et les assembler en un unique un panorama. Chaque photomontage est défini par un unique point de vue, un point géographique depuis lequel est imaginé le projet éolien.

Les conditions de prises de vues sont relevées : zoom de l'appareil photo, hauteur, direction de l'objectif et position de la prise de vue.

A chaque point de vue, 6 à 7 photographies du site sont prises, de façon successive dans le plan visuel. Cela permettra de faciliter la réalisation du panorama. Positionné au sommet d'un trépied, l'appareil photo peut donc parcourir le paysage de façon continue et obtenir des photos de même hauteur, d'angle de vue et qui se suivent. (cf. images ci-dessous)



Un logiciel de montage est ensuite utilisé pour assembler les photographies et constituer le panorama. Ce format permet d'obtenir une représentation de l'observation plus réaliste, avec un angle de vue proche de la vision humaine (de 120° à 180°).



## 2ème étape: Création du support visuel: du panorama à l'image numérique.

Convertir la photographie en un plan géométrique, numérique et dimensionné.

De 3 à 4 de « points de repères » ou « points de contrôle » sont ensuite définis puis géolocalisés à l'aide d'un GPS ou par cartographie. Ce sont des éléments matériels, visibles et figurant sur la photographie (ex : arbre, maison, etc..). Pour un parc éolien en mer, depuis la côte, ces éléments seront moins nombreux.

Ces repères géographiques, la position des prises de vue et des mâts éoliens, serviront à «caler» l'image: il s'agit d'indiquer au logiciel informatique (WindPro, Windfarmer,...) des paramètres géographiques tels que la distance entre des objets, points de l'image (ex: dénivelé, distance entre les arbres,...).

Représentation numérique 3D d'un paysage par le logiciel *Maperitive*

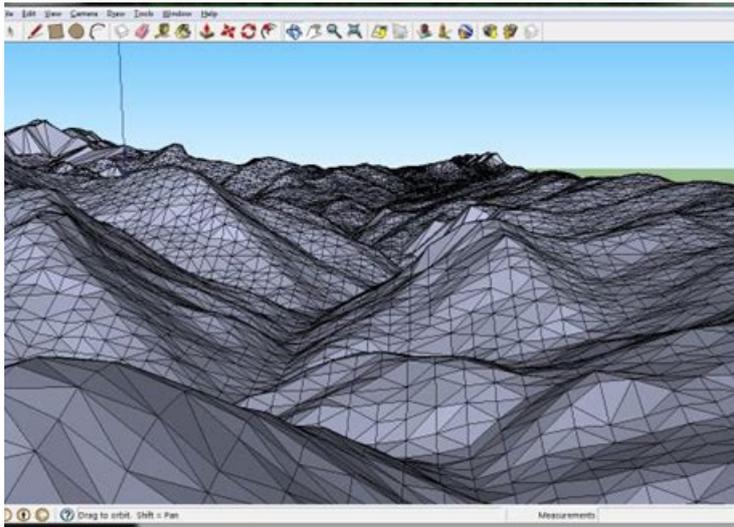
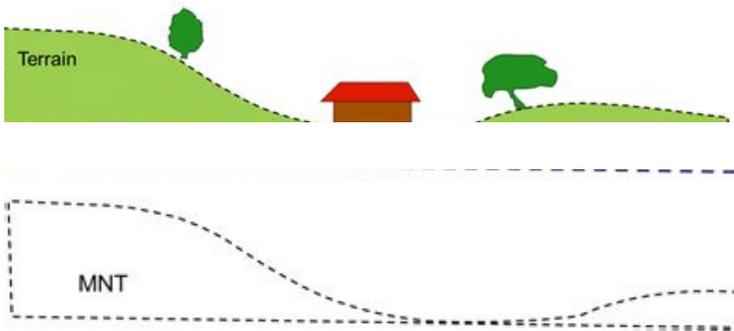


Schéma d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)



Cela lui permet ensuite de transformer la photographie en un schéma de 3 dimensions, numérique et géométrique appelée Modèle Numérique de Terrain (MNT).

### Étape 3: Insertion des éoliennes et retouche du paysage.

Des éoliennes numériques sont ensuite intégrées au MNT, schéma incolore du paysage. Plusieurs critères sont pris en compte:

- la forme des éoliennes: les dimensions et les couleurs sont fournies par le maître d'ouvrage tandis que l'expert s'occupe de l'orientation des pâles,
- la position géographique: chaque mât d'éolienne est numéroté et positionné sur une carte numérique.

Le logiciel utilise ces données pour construire une image fidèle au projet, lui offrir un "effet de distance": plus l'éolienne est loin, plus elle semble petite. Le calage de la photographie réelle sur le schéma numérique permet ensuite aux éoliennes numérisées d'apparaître sur le panorama réalisé.

Des paramètres tels que l'intensité lumineuse, le contraste ou la couleur sont ensuite modifiés à l'aide du logiciel de photomontage ou de retouche pour représenter le projet éolien sous des effets climatiques réalistes : un paysage éolien ne peut par exemple pas être représenté sous la neige dans une région chaude et quelques clichés propres au climat de la région sont à favoriser.

La réalisation du panorama, l'analyse et la schématisation du paysage puis sa superposition avec des éoliennes numériques sont les étapes communes à tout photomontage de parc éolien, en mer comme sur terre. Cette méthodologie varie plus précisément selon le logiciel utilisé, le bureau d'étude et les conditions d'observation choisies par les maîtres d'ouvrage.

Les parcs éoliens étant souvent construits aux noms d'entreprises privées, les outils de communication du projet comme les photomontages peuvent être remis en question par une enquête publique si la population locale estime qu'ils ne sont pas objectifs et réalistes.

Autrement, la plongée sous-marine pouvant perdre de son charme près de cubes bétonnés et câbles parsemés, l'impact visuel concerne aussi les fonds marins.

# Dossier ÉNERGIE

Aujourd'hui la question des énergies renouvelables dans notre société occupe une place primordiale. En effet, quand on discute de l'environnement et de comment améliorer notre impact, le fait de changer notre production d'énergie est très vite abordé. Et en tête de peloton, on retrouve les éoliennes. Mais savez-vous réellement comment elles fonctionnent? De la production en transport, nous vous expliquons tout !

## Comment une éolienne en mer produit-elle de l'énergie ?

Que penseriez-vous si je vous disais que le paysage maritime est une source d'énergie à environ 40km de la côte? Avec des vagues de 2,5 m de hauteur, les vents s'élèvent de 20km/h, vitesse parfaite pour faire fonctionner une éolienne.

Qu'est-ce qu'une éolienne et comment la puissance du vent la fait marcher pour produire de l'énergie?

Une éolienne est une sorte de grosse colonne avec au bout, trois pales positionnées comme dans un moulin, qui tournent avec les forts coups de vent qui circulent sur la mer, ces rotations provoquées par le vent activent un mécanisme qui transforme la force du vent en énergie. Plus précisément, sous l'effet du vent, le rotor, situé au bout d'un mât, se met en marche et les pales commencent à tourner.

Suivant le type d'éolienne, le mât varie entre 10 et 100 m de haut et le rotor comporte généralement 3 pales plus larges que celles des éoliennes terrestres car, plus la surface brassée d'air est importante, plus la puissance de l'éolienne est grande. Si le vent est trop lent (<15 km/h), il n'entraîne pas les pales assez vite, s'il est trop rapide (< 90 km/h), il les entraîne trop vite. Il faut alors réduire la vitesse de rotation, en faisant pivoter les pales, pour éviter les perturbations aérodynamiques.

Le rotor entraîne alors un axe dans la nacelle, appelé arbre, relié à un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la rotation de l'axe, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Suivi par un transformateur qui élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau.

L'énergie produite est ensuite transportée par des câbles jusqu'au territoire continental pour alimenter les maisons en électricité. Les éoliennes en mer peuvent être installées de différentes façons selon la profondeur de la mer et le budget du projet.

Des rotations  
provoquées par le vent  
activent un mécanisme  
qui transforme la force  
du vent en énergie.

Pourquoi un parc éolien en mer ?

Les parcs éoliens les plus courants et faciles à installer sont sur terre mais ils occupent de l'espace qui pourrait avoir un potentiel agricole ou constructible et créent une pollution sonore et visuelle trop importante. La surface des océans représente 70% de la surface globale, elle n'est pas habitable et c'est là où la force du vent est la plus importante. En Europe, les parcs éoliens maritimes se développent. En 1991 le premier a été construit au Danemark et aujourd'hui c'est le Royaume-Uni qui a la plus grande puissance en parcs éoliens marins.

# L'éolien marin ! Comment et quel rendement ?

## L'exemple du parc de Saint-Nazaire

Nous prendrons donc pour exemple le parc éolien de St Nazaire et des deux îles. Ce parc sera installé en mer du banc de Guérande de Saint-Nazaire, à 12 km des côtes, sur une surface globale de 78 km<sup>2</sup> et à des profondeurs variant entre 12 et 25 m. Il s'agit d'un parc de 80 éoliennes en mer d'une capacité unitaire de 6 Mégawatt (mW) pour une puissance totale de 480 Mégawatt.

Dotées d'un mât de 100 mètres et de pales de 73,5 mètres, ces grandes dames d'acier culminent à une hauteur totale de 175 mètres au-dessus de l'océan. Cette puissance de 480 Mégawatts est la quantité capable d'être produite, lorsque les conditions météorologiques sont favorables, à la mise en fonctionnement de toutes les éoliennes du parc simultanément. On parle alors de production en mégawattheure, lorsque le parc entier produit cette quantité d'énergie de manière constante durant une heure.

Pour calculer la production annuelle du parc éolien de Saint-Nazaire, un facteur très important à considérer est son « facteur de charge moyen ». C'est-à-dire la proportion du temps durant lequel le parc produit de l'énergie électrique à pleine puissance durant l'année. En 2016, celui de l'éolien terrestre en France se situait autour de 20 %. En 2019, celui de l'éolien offshore européen était de 38%.

Ces chiffres seuls témoignent de l'intérêt que représente l'éolien offshore par rapport au terrestre. Ce facteur s'explique par le fait que la nature offre parfois des vents trop fort, parfois trop faibles ou parfois pas de vent du tout. Le calcul pour estimer la production annuelle du parc éolien de Saint-Nazaire est donc le suivant. Il suffit de multiplier sa puissance totale par le nombre d'heures dans une journée. Puis de multiplier ce chiffre par le nombre de jours dans une année. Et enfin de multiplier ce résultat par son facteur de charge.

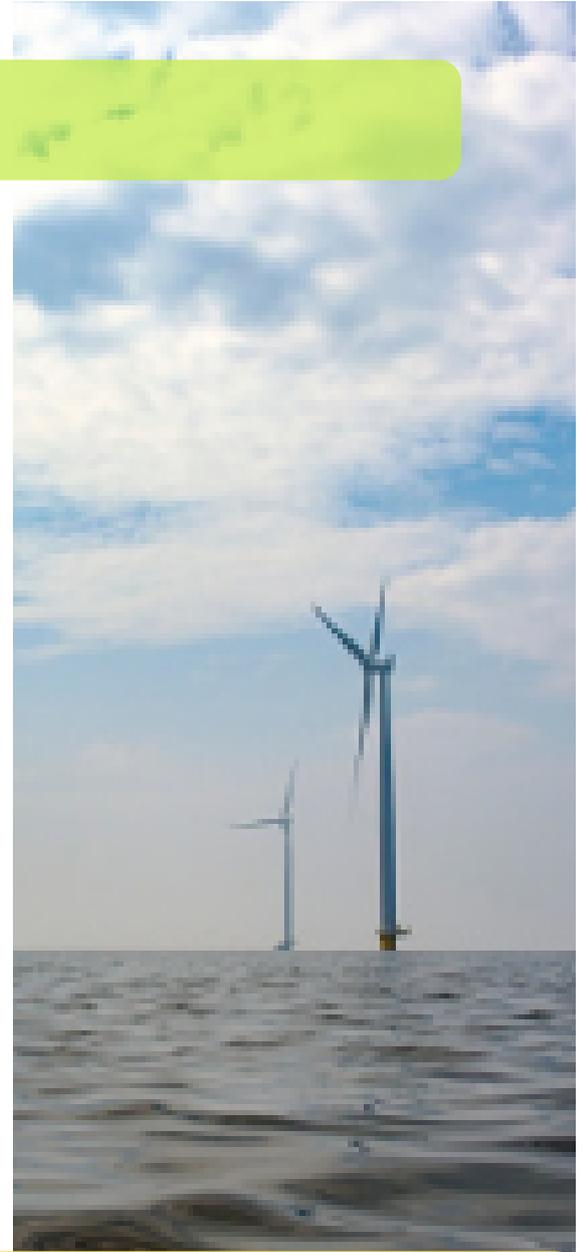
Application Numérique :

Soit :

$$480 * 24 * 365 * 38\% = 1\ 597\ 824 \text{ Mégawattheure}$$

Soit environ 1 598 Gigawattheure. Dans le cas des prévisions de production énergétique du parc éolien de St Nazaire faites par les ingénieurs du projet, celui-ci permettrait donc de couvrir l'équivalent de 20% de la consommation en électricité de la Loire-Atlantique.

Cette électricité pourrait couvrir les besoins énergétiques annuels d'une ville d'environ 400 000 habitants.



Près de 1 600 Gigawattheures  
produits en 1 an

# Comment l'électricité produite en mer arrive-t-elle sur terre ?

Pour acheminer l'électricité produite par les éoliennes marines, il faut utiliser des câbles qui permettent d'amener l'électricité dans le réseau terrestre.

En premier lieu, il faut savoir que le parc peut être installé par n'importe quelle société mais, en France, c'est toujours le RTE (Réseau de Transport d'Électricité) qui s'occupe du transport. L'énergie produite par les éoliennes est transmise à une éolienne de tête (qui relie le parc au continent) ou alors chacune est reliée au continent individuellement. Le RTE propose de remplacer ce système par un HUB (une plateforme) de raccordement commun à plusieurs parcs éoliens. Cette solution permettrait de réduire les coûts et les impacts environnementaux puisque qu'il y aurait moins de câbles. Notamment en élevant la tension de 60 000 volts à 225 000 volts. Cela permet d'utiliser 2 câbles à très haute tension plutôt qu'une dizaine à basse tension (ce qui est fait actuellement).

## Quels sont les dispositifs pour savoir où le câble doit passer ?

Pour commencer, il faut se renseigner sur la qualité du fond marin afin de limiter les impacts sur l'environnement, et sur les activités humaines. Il faut aussi réfléchir à la technique qu'il faudra utiliser. Une cartographie des zones sensibles est faite et il est noté les zones de pêche, de navigation, de réserve naturelle et les zones archéologiques.

Grâce à cela, il est possible de déterminer l'endroit le plus adéquat pour poser les câbles. Une fois cette carte réalisée, la pose des câbles peut être réalisée. Le câble est acheminé par un navire câblé, qui le dépose sur le tracé réalisé. Selon la nature du sol, la profondeur et les usages, il existe différentes techniques pour protéger le câble.

L'ensouillage est la technique privilégiée lorsque le sol est relativement mou. Le câble est inséré dans une tranchée puis cette tranchée se comble naturellement au fur et à mesure du temps.

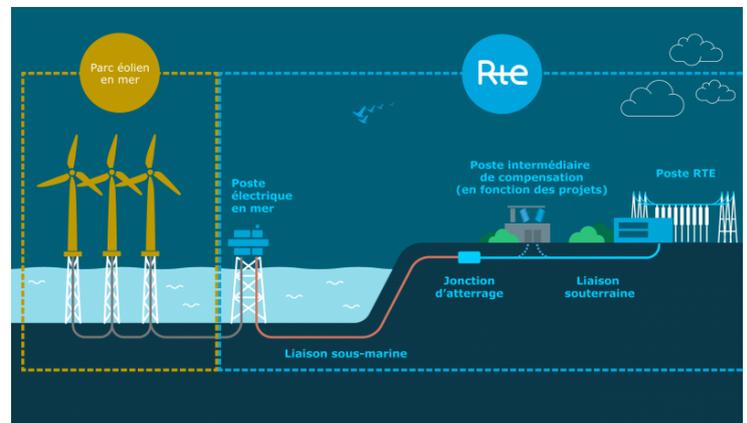


La deuxième technique s'appelle l'enrochement. Le câble est posé sur le sol puis est recouvert par de la roche. Cette technique permet aussi de créer un nouvel habitat pour la faune.



## Comment se passe le transport de l'électricité ?

Pour la collecte de l'électricité, des câbles relient toutes les éoliennes à un poste électrique en mer, ce poste centralise toute la production du champ éolien. Sur cette plateforme, il y a des transformateurs qui permettent d'élever la tension, pour qu'elle soit équivalente à celle du réseau terrestre. Ces postes électriques peuvent servir pour les services publics ou locaux. Ils accueillent aussi par exemple des scientifiques pour faire des recherches sur la biodiversité ou récupérer des déchets plastiques.



Ensuite l'électricité est acheminée jusqu'à la terre par une liaison sous-marine en courant alternatif. Pour transférer l'électricité des côtes à la terre, on utilise une technique appelée l'atterrage. Cette technique prend en compte l'érosion de la côte. La plupart du temps il s'agit d'un forage dirigé. Un forage dirigé permet au câble de remonter progressivement du fond marin en restant enfoui sous la plage.

Les câbles se déploient sur le fond marin et passent ensuite sous la dune de la plage. Où se trouve une chambre de jonction, qui est gros caisson de béton à environ 2m de profondeur, qui fait la transition entre les câbles marins et les câbles terrestres. Par la suite ils rejoignent un poste RTE.

# Une énergie 100% renouvelable est-elle envisageable à l'avenir ?

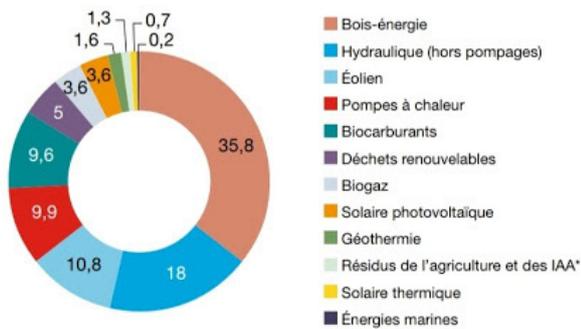
Pensez-vous que demain nous pourrions remplacer toutes les énergies fossiles par une ou plusieurs énergies totalement renouvelables ? D'après la WWF, il serait possible de passer aux énergies 100 % renouvelables d'ici 2050. Cela dépendrait essentiellement des subventions publiques, qui en 2014 sont quatre fois inférieures aux subventions accordées aux énergies fossiles et au nucléaire. Mais également à la concentration trop faible de technologies propres dans les pays émergents, autrement dit répartir l'accès aux technologies utilisant des ressources naturelles renouvelables ayant une productivité ou une efficacité au moins égale aux technologies habituelles.

Production d'énergie renouvelable en France en 2019.  
Voici un exemple de la répartition de la production d'énergies renouvelables en France en 2019 (pour une consommation d'énergies renouvelables de 11,7 %).

## PRODUCTION PRIMAIRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR FILIÈRE EN 2019

TOTAL : 320 TWh

En %



\* IAA : industries agroalimentaires.

Source : calculs SDES

Les chiffres suivants viennent de l'agence France-Presse et datent de 2020, ils prennent donc en compte l'influence de la crise sanitaire sur la consommation d'énergie. En France les énergies renouvelables ont contribué à hauteur de 26,9% à la consommation d'électricité c'est une augmentation de 3,8 % par rapport à l'année 2019 (23,1%). Ce sont l'éolien (17,3%) et l'hydraulique (9,3%) qui produisent la majorité de l'énergie. Cependant le nucléaire représente 70 % de la production d'électricité en France.

On observe donc des différences significatives entre les deux sources mais surtout entre la production et la consommation d'énergie renouvelable qui est due à l'importation de bois-énergie et de biocarburant.

Peut-on espérer une énergie 100% renouvelable dans un avenir proche ?

Nous pourrions conclure cet article par la possibilité de passer aux énergies 100% renouvelables dans un futur proche à condition que les subventions publiques accordées aux énergies renouvelables soient au moins équivalentes aux subventions accordées aux énergies fossiles et nucléaires.

De plus, il faudrait que la concentration de technologie propre soit répartie équitablement dans le monde et plus uniquement dans les pays industrialisés. Il faudrait également réussir à trouver les bonnes proportions du mix énergétique pour que la rentabilité des énergies renouvelables soit optimale.

On pourrait se poser la question suivante: La surproduction du nucléaire destinée à l'exportation n'est elle pas un frein au 100 % renouvelable ?



# Dossier BIODIVERSITE

Les éoliennes offshore (en mer) sont une des sources d'énergies « vertes ». Mais leur introduction dans les milieux naturels n'est pas sans impacts pour les être vivant qui les côtoient.

## Impacts sur les oiseaux

L'avifaune (oiseaux) est elle aussi impactée par la présence d'éoliennes en mer.

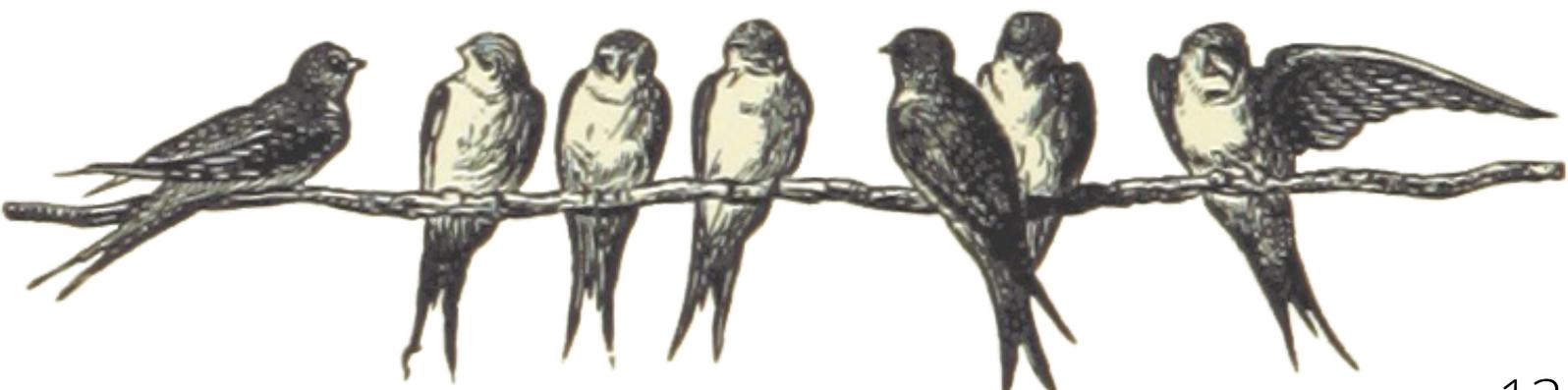
### Les effets immédiats

La création d'un parc éolien entraîne la perte d'habitats pour certaines espèces d'oiseaux et donne lieu à de nombreuses collisions mortelles.

En effet, une estimation faite par la ligue de protection des oiseaux (LPO) a conclu qu'une éolienne tuerait en moyenne entre 0,3 à 18,3 oiseaux chaque année. Ces résultats restent tout de même incertains car la moitié des cadavres d'oiseaux disparaissent en mer.

Cependant, le taux de mortalité varie selon l'emplacement du parc éolien. Certains parcs sont placés dans des zones d'alimentation et/ou de reproduction de certaines espèces d'oiseaux. Si un parc est situé dans une zone de reproduction, alors il y aura abandon de la nidification car durant la reproduction, les oiseaux sont plus sensibles au dérangement. Cela va engendrer une baisse de la biodiversité autour des éoliennes mais aussi mettre en péril certaines espèces en voie de disparition, comme par exemple les vautours fauves en Europe et les aigles royaux.

On observe également une réponse d'évitement (effet barrière). Une synthèse de 2019 indique que 86% des oiseaux modifient leur trajectoire de vol, et ce, à des distances allant jusqu'à 2 km. En revanche, cela allonge les trajets, plus particulièrement pour les populations sédentaires. En effet ces dernières font des allers retours plus fréquents entre leurs zones de reproduction, d'alimentation et de repos que les oiseaux migrateurs. Ainsi, ce contournement répété puise dans leurs réserves de graisse, influençant à long terme les capacités de reproduction et donc la pérennité de l'espèce. Ces effets, considérés comme peu significatifs, peuvent être réduits par la création de larges couloirs de passage au sein des parcs éoliens. De plus, une étude réalisée par la LPO a fait le constat que les parcs où la mortalité est la plus élevée, sont placés à moins de 1000 mètres d'une zone de protection spéciale. Il faudrait donc éloigner les futures éoliennes des zones de protection spéciale et des zones à enjeux, notamment les lieux de nidification des rapaces.



## Les effets sur le long terme:

L'introduction d'éoliennes modifie les habitudes alimentaires des oiseaux. Bien que les zones de nourriture ne soient pas détruites, certains individus au sein des espèces perdent indirectement une aire de chasse par peur des éoliennes. D'autres au contraire acceptent de s'y alimenter. Une capacité d'adaptation aux éoliennes a également été rapportée pour certains oiseaux. Par exemple, un article publié dans la revue *Landscape Ecology* indique que les Oies à pattes roses ont été observées en train de se nourrir après avoir, pendant un temps, gardé leurs distances. Bien que les scientifiques envisagent l'accumulation des parcs éoliens à l'avenir comme un facteur aggravant, les études actuelles ne permettent pas de conclure sur la perte d'habitat à long terme.

Par ailleurs, cette introduction offre, pour certaines espèces en capacité de s'adapter aux éoliennes, des aires de repos. C'est « l'effet perchoir ». Un rapport de la LPO (Ligue pour la protection des oiseaux) indique que les Grands Cormorans les utilisent comme observatoire de chasse. Si cet effet peut être aussi bénéfique pour les oiseaux effectuant de longues distances, la proximité oiseaux-éoliennes et donc le risque de collision sont augmentés.

En outre, les lumières de signalisation attirent les oiseaux. Un article de la revue *Ecology and Society*, concernant des expériences menées sur des plateformes pétrolières, montre que les oiseaux migrateurs sont désorientés et attirés par les lumières rouges ou blanches. Ils restent indifférents aux lumières vertes ou bleues. Pour les scientifiques, ceci suggère que l'éclairage artificiel interfère avec la boussole magnétique des oiseaux (dont l'orientation est liée à des protéines présentes dans les yeux). Néanmoins et comme le rappelle le WWF, changer les feux de signalisation des éoliennes est complexe, étant donné la stricte législation des politiques nationales les concernant.

## Quelles conclusions et quels enjeux pour l'avenir ?

Les études actuelles permettent de démontrer les effets immédiats des parcs éoliens offshore, mais les scientifiques s'accordent à dire que les conséquences à long terme sur les oiseaux sont encore méconnues.

Il existe néanmoins plusieurs solutions envisageables pour diminuer l'impact des éoliennes. Il a été démontré que de peindre une pale de l'éolienne en noir entraînerait une diminution du nombre de collisions des oiseaux. Également, une expérience a été réalisée dans l'installation d'une caméra de détection qui arrête les hélices lorsqu'un oiseau se rapproche.

Ainsi, un travail de recherche et d'étude d'impacts concernant chaque zone visée pour un futur parc éolien est nécessaire pour s'assurer que la mise en place de ces derniers ne nuise pas à la biodiversité existante. En effet, pour limiter le plus possible les impacts d'un projet sur les populations aviaires, il est indispensable de réaliser des études sur le long terme, et ce en prenant compte les zones de forte concentration de populations vulnérables, les périodes sensibles du cycle de vie (ex : la mue), et l'accumulation de parcs dans une même zone.





## Impacts sur la vie sous-marine

L'introduction d'une structure telle qu'une éolienne modifie le fonctionnement du milieu sous-marin. Mais quelles en sont les conséquences au fil du temps ?

### La préparation du sol

Dans un premier temps, il y a la phase de construction, une des étapes de construction est la préparation du sol, qui consiste à le rendre plat. Durant cette phase, les sédiments (couches de sable superficielles, au contact de l'eau) sont déplacés et rendent l'eau trouble. Un rapport d'étude du WWF souligne que ce trouble affecte le développement des macro-algues en empêchant la pénétration de la lumière dans l'eau. Cela engendre l'obstruction de l'appareil respiratoire de certaines espèces marines. Cependant, d'autres espèces apprécient l'eau trouble qui les rend moins visibles et ainsi davantage protégées contre les prédateurs

### L'installation des fondations et ses conséquences

Les parcs éoliens Offshore engendrent des installations difficiles, leurs fondations sont posées ou ancrées au moyen de câbles les fils électriques. Ils peuvent abîmer les fonds marins plus particulièrement les coraux essentiels à la biodiversité marine comme le maërl qui est un corail réalisant la photosynthèse. Par ailleurs, les opérations de forage (percer le fond marin) ou de battage des pieux (enfoncer des pieux en frappant son sommet avec un lourd marteau à bascule) sont à l'origine de nuisances sonores pouvant déranger les mammifères marins utilisant le son pour divers comportements.

Un rapport d'étude de l'IRSNB (Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique) publié en 2020, a montré que des niveaux sonores pouvant atteindre 200 dB (décibels, unité de mesure du son) sont générés lors de cette étape.

L'échelle ci-dessous (Fig.1, a) illustre l'importance de cette nuisance. Dans des parcs éoliens en mer du Nord, les comportements de marsouins, phoques et dauphins

ont été observés : ces populations quittent la zone durant la construction. Des études démontrent que le saumon, la morue et la sole évitent également le site. Pour réduire le son induit, des solutions existent telles que les rideaux de bulles avec des résultats positifs lors d'un test en 2018 sur des moules de la baie de Saint-Brieuc.

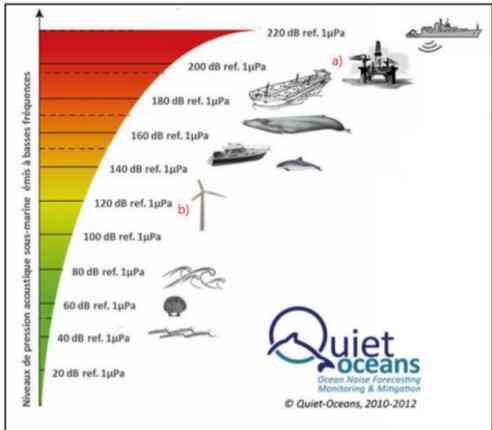


Figure 1 : échelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins

## Quels impacts sur le long terme ?

Une fois l'installation terminée, les mammifères investissent de nouveau les lieux. En effet, le niveau sonore des éoliennes en exploitation est bien moindre que celles en construction : 120 dB. Ce bruit, évalué isolément, n'aurait pas de conséquence significative sur la santé des animaux et leur comportement.

Néanmoins, la prise en compte de l'effet cumulatif des activités humaines amène à nuancer ce constat. En effet, un déclin de 10 % des populations de Marsouins est observé lorsque l'évaluation considère les bruits de navigations et de pêche en plus de ceux des parcs.

Les fondations deviennent, une fois achevées, un support pour les espèces s'accrochant aux rochers (mollusques, crustacés). Les scientifiques observent une croissance de la biodiversité (la richesse des populations) dans les zones proches des parcs éoliens, créant des sanctuaires artificiels. C'est « l'effet récif » : un développement accru des micro-organismes (invisibles à l'œil nu) qui offre un puit de nourriture attirant les prédateurs. Cette modification du milieu. L'effet est donc positif, car ce nouvel habitat compenserait jusqu'à 2,5 fois la perte du précédent. Toutefois, après une dizaine d'années, la présence de certaines espèces, telle que l'anémone pulpeuse ou la moule, diminue. Ce ne sont donc pas des équivalents durables aux supports naturels. D'autant plus que, paradoxalement, cela peut entraîner l'arrivée de nouveaux prédateurs tels que des oiseaux et des mammifères marins attirés par cette réserve de nourriture.

## Conclusion

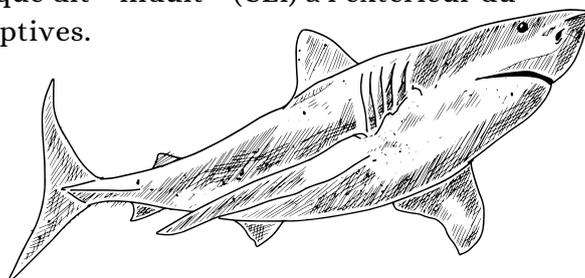
Étant un moyen de production d'énergie relativement nouveau, les impacts sur la biodiversité marine de l'éolien offshore sont encore incertains. Il semble avoir des effets négatifs durant sa construction, puis positifs en phase d'exploitation. Enfin, des études complémentaires permettraient de connaître davantage la biodiversité marine et ainsi mieux la protéger.

## Zoom - Étude de l'impact des champs électromagnétiques

Les câbles électriques génèrent des champs électromagnétiques dont les effets possibles sur notre santé sont étudiés. Mais qu'en est-il des animaux ?

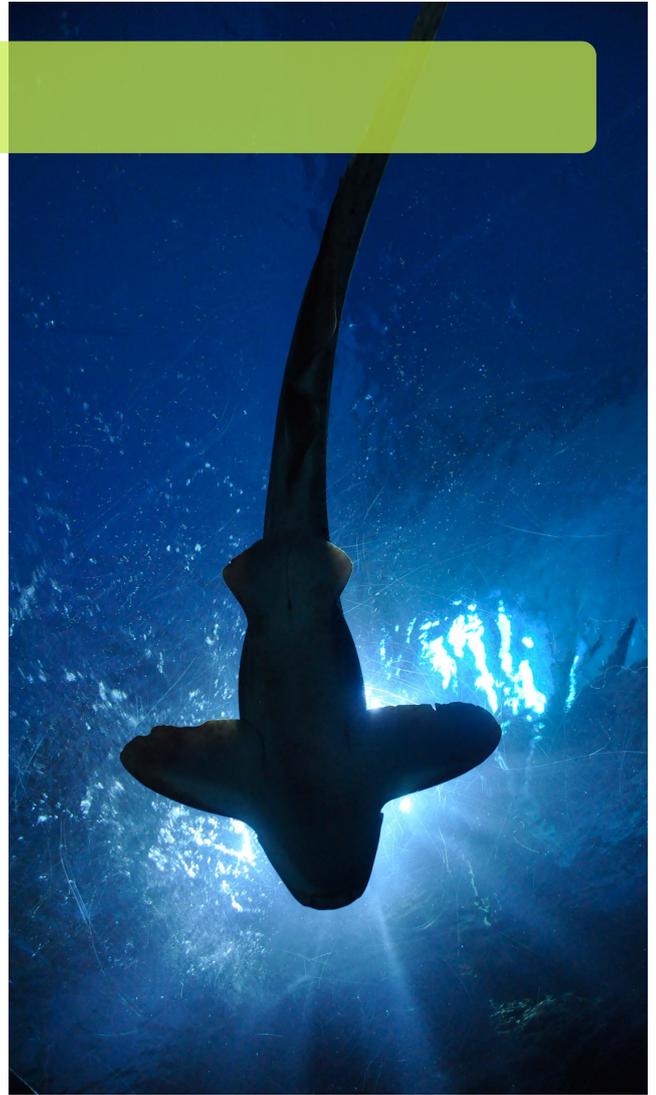
Contrairement à l'humain, certaines espèces animales dites « électro réceptives » ont la capacité d'utiliser les champs électriques générés par d'autres animaux pour les chasser ou se reproduire. Ce champ pouvant être généré par un câble électrique à très hautes tensions, les réseaux électriques des parcs éoliens en mer font l'objet d'interrogations : s'il est possible pour un poisson de détecter le champ électrique d'un autre, celui émis par un câble électrique pourrait-il avoir un impact négatif sur son espèce ? En raison d'un manque de données et de la répartition géographique des animaux électro réceptifs, les conclusions des études scientifiques restent hypothétiques.

Dans cet article, nous vous expliquons comment les champs électromagnétiques peuvent influencer le mode de vie de ces espèces et la difficulté à qualifier l'impact des câbles de raccordements électriques sur celles-ci. Pour cela, nous prendrons l'exemple d'une espèce particulièrement réceptive au champ électrique, le requin. Le champ électromagnétique. Un champ électromagnétique est la combinaison de deux champs : un champ électrique(CE) lié à une tension électrique (en Volt/cm) et étant continu dans un câble (cf. encadré) ; et un champ magnétique(CM), généré par un courant électrique. Lorsqu'une éolienne produit de l'énergie, elle génère un courant électrique qui n'émet pas de CE mais un CM : une armure métallique isolant le câble l'en empêche. Ce champ magnétique est composé un champ électrique dit « induit » (CEi) à l'extérieur du câble : c'est ce champ qui peut détecter les espèces électro réceptives.

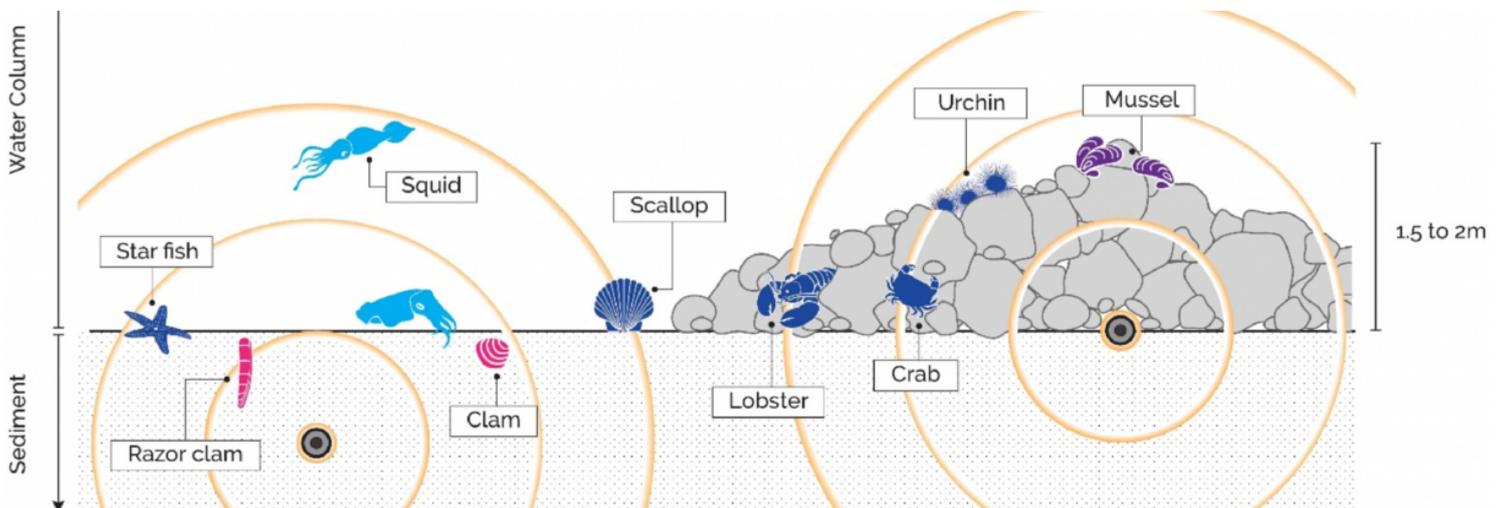


# L'électro-réception

En 1971, l'étude de Kalmijn démontre la capacité d'un requin à détecter la présence d'électrodes générant un courant électrique puis en 1989, Marra établit la cause de morsures de requins sur un câble électrique sous-marin. En effet, les espèces électro-réceptives disposent de récepteurs biologiques permettant de détecter et d'analyser le champ électrique qui l'entoure pouvant atteindre 5 nanovolt par centimètre. Chez le requin, il s'agit des ampoules de Lorenzini. Proche du sens de la vision ou de l'odorat, cette faculté lui permet de détecter un poisson caché sous le sable. Une carpe détectant un CE de 5 nano volts/cm sera donc en capacité de détecter celui d'un petit poisson de 1 micro volt/ cm. Ces CE sont proches des CEi générés par les CE des câbles de raccordement électrique. Cela explique leur prédation par les requins. Concernant une autre espèce sous-marine, le *Scyliorhinus canicula*, une étude, Gill & Taylor (2001), montre qu'elle évite des CE d'intensité proche de celle prévue par les câbles des parcs éoliens. Étudier l'impact des champs électromagnétiques des câbles de raccordement électrique nécessite de connaître les facultés des animaux sous-marins à les percevoir et la proportion de ces espèces dans la zone d'implantation de projet éolien.



Cela demande aussi un suivi à long terme qui ne peut actuellement pas encore aboutir : la modification d'un écosystème pouvant être irréversible et soudaine après plusieurs années. Pour diminuer les risques d'impacts encore inconnus sur la diversité animale sous-marine, des solutions provisoires sont mises en place comme l'enterrement ou l'enrochement des câbles (recouvrement par des rochers) afin de diminuer l'intensité émise et perceptible des champs électromagnétiques.





## ÉDITO Christophe MORIN – Chef de département

Le B.U.T. Génie Biologique a pour objectif de former des technicien·ne·s supérieur·e·s ayant un large spectre de connaissances et de compétences en biologie leur permettant de trouver un emploi dans des secteurs variés : diététique, environnement, agroalimentaire, biotechnologie, pharmacie et agronomie, biomédical, ... où ils peuvent exercer différentes activités : production, analyse et contrôle, recherche et développement, services, management, alimentation humaine, etc.

Deux parcours proposés dès la première année préparent à des carrières différentes et correspondent à une formation et des compétences spécifiques :

- Sciences de l'Environnement et Écotechnologies (SEE)
- Diététique et Nutrition (DN)

## ORGANISATION DE LA FORMATION

Types de formations proposées :

### Formation initiale classique

- 1 800 heures d'enseignement et 600 heures de projet tutorés sur 6 semestres
- Travaux pratiques, mises en situation, sorties terrains
- Pédagogie de projet, travaux de groupes en lien avec des professionnels
- Sortie possible à la fin du 4<sup>ème</sup> semestre = DUT
- Sortie à la fin du 6<sup>ème</sup> semestre = B.U.T.

### Formation en alternance

- Semestres 5 et 6 possibles en formation en alternance (Contrat d'apprentissage)
- Semestres 3, 4, 5, 6 possibles à l'étranger selon le projet professionnel

## L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'équipe du Département Génie Biologique s'appuie sur des pédagogies actives pour développer l'esprit critique, une démarche scientifique, s'approprier des connaissances et des compétences pour agir en contexte.

Au cœur du dispositif d'apprentissage, l'étudiant.e utilisera les salles projets, les espaces de co-working, les salles de travaux pratiques du bâtiment H, ainsi que les nombreux outils numériques mis à sa disposition pour développer ses compétences et construire son projet professionnel.

Les projets tutorés menés tout au long du cursus, en collaboration avec les acteurs du territoire, les entreprises, les professionnels de l'environnement, d'autres départements de l'IUT, et dans le cadre de la cordée de la réussite « Mission Cap Sup Avenir »... sont l'occasion de mobiliser et d'appliquer l'ensemble des connaissances et compétences de la formation.

## LES COMPÉTENCES DU DIPLÔMÉ

- Réaliser des analyses dans les domaines de l'environnement (Chimie, Biologie)
- Expérimenter dans le Génie Biologique
- Gérer les milieux naturels et anthropisés
- Traiter les pollutions
- Déployer l'économie circulaire

## DÉBOUCHÉS PROFESSIONNELS

Le diplômé exerce ses activités au sein d'entreprises, de collectivités territoriales, d'organismes publics, d'associations, de laboratoires publics ou privés dans les domaines suivants :

- Gestion et traitement des eaux et des déchets
- Analyses et traitement des pollutions (air, sols et eaux)
- Gestion des milieux naturels et de la biodiversité
- Conseil en Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement (QHSE)
- Conseiller en environnement et développement durable

Formation Initiale / Formation en Alternance ✓

## CONDITIONS D'ADMISSION

- Candidature : [www.parcoursup.fr](http://www.parcoursup.fr)
- Bac
- Amphi de présentation de la formation et de recrutement



Partenariats



[dut.gb@iutsf.org](mailto:dut.gb@iutsf.org)





# MERCI AUX



## Rédactrices en cheffes :

Emmah DOLZ | Pauline GAUTHIER | Chloé MILLON

## Illustrateurs :

- Margaux LEROY
- Diana LOPES

- Tristan LAFOSSE
- Mielandzia UGOLIN

## Rédacteurs :

- Leticia ROUX
- Maxime LARNAUDIE
- Mary PERRET

- Marine AUDONNET
- Matéo HABBAH
- Pauline GARON

## Partenaires :



## Ressources :



Bibliographie

UPEC



# ÉCOVENT

## Des hélices tournent au large de nos côtes ...

Si vous vous interrogez sur l'énergie éolienne et sur la part qu'elle représente dans les énergies renouvelables produites en France, vous êtes au bon endroit.

Grâce à notre journal, vous apprendrez ce qui différencie les éoliennes marines des éoliennes terrestres. Vous parviendrez à différencier les éoliennes marines posées de leurs cousines flottantes. Vous comprendrez également

ECOVENT est l'aboutissement d'un travail de recherche universitaire et d'écriture que nous avons mené dans le cadre de notre première année de DUT Génie Biologique, Génie de l'Environnement à l'IUT de Sénart-Fontainebleau.

La façon dont ces grandes dames d'acier produisent de l'énergie, en quelles quantités et comment celle-ci est acheminée jusqu'à nous.

Et comme nous sommes certains que la protection de l'environnement vous tient à cœur autant qu'à nous, nous vous expliquerons quels impacts les parcs éolien marin peuvent avoir sur la biodiversité marine et sur les oiseaux.

Nous espérons que vous apprendrez de nombreuses choses et vous prendrez plaisir à parcourir ce journal, autant que nos deux classes en ont pris à l'écrire et à l'éditer.

**Merci à nos enseignants, à Tania Louis et à Juliette Rohde de la CNDP pour vos conseils.**

Bonne lecture à tous !