



saint-nazaire
RENVERSANTE®



CENTRE ÉOLIEN
SAINT-NAZAIRE

DOSSIER ENSEIGNANT

PRÉSENTATION
THÉMATIQUES
RESSOURCES

SOMMAIRE

DOSSIER ENSEIGNANT



➔	PRÉSENTATION GÉNÉRALE D'EOL - CENTRE ÉOLIEN	P.3
1	PREMIÈRE SÉQUENCE : AU ROYAUME D'ÉOLE	P.5
	THÉMATIQUES ET RÉCIT	P.6
	APPROFONDISSEMENTS	P.11
	BIBLIOGRAPHIE	P.14
2	DEUXIÈME SÉQUENCE : L'ÉLECTRICITÉ ET MOI	P.16
	THÉMATIQUES ET RÉCIT	P.17
	APPROFONDISSEMENTS ET ATELIER	P.29
	BIBLIOGRAPHIE	P.30
3	TROISIÈME SÉQUENCE : L'ÉOLIEN EN MER	P.31
	THÉMATIQUES ET RÉCIT	P.32
	BIBLIOGRAPHIE	P.49
4	QUATRIÈME SÉQUENCE : PAYSAGES	P.51
	THÉMATIQUES ET RÉCIT	P.52
➔	REMERCIEMENTS	P.59

1

PRÉSENTATION GÉNÉRALE EOL - CENTRE ÉOLIEN

EOL - Centre éolien de Saint-Nazaire est le premier site de découverte grand public en France consacré à l'énergie éolienne et sa production en mer.

Il propose d'aborder la technologie de l'éolien en mer dans une mise en perspective historique et géographique, en croisant différentes thématiques :

- Les énergies et leur utilisation par l'Homme,
- La production et la consommation d'électricité,
- L'éolien en mer comme exemple de production électrique du futur,
- La dimension humaine de projets techniques,
- Le développement du territoire.



Le contexte :

Inauguré en 2019, EOL Centre éolien a été conçu en lien avec le développement du premier parc éolien en mer français. En effet, ce dernier a pris place en 2022 au large des côtes de Saint-Nazaire.

Collectivités, énergéticiens et industriels du secteur ont convenu du besoin de médiation autour de ces projets novateurs et ont souhaité proposer aux publics un espace dédié pour approfondir les thématiques de l'éolien en mer.



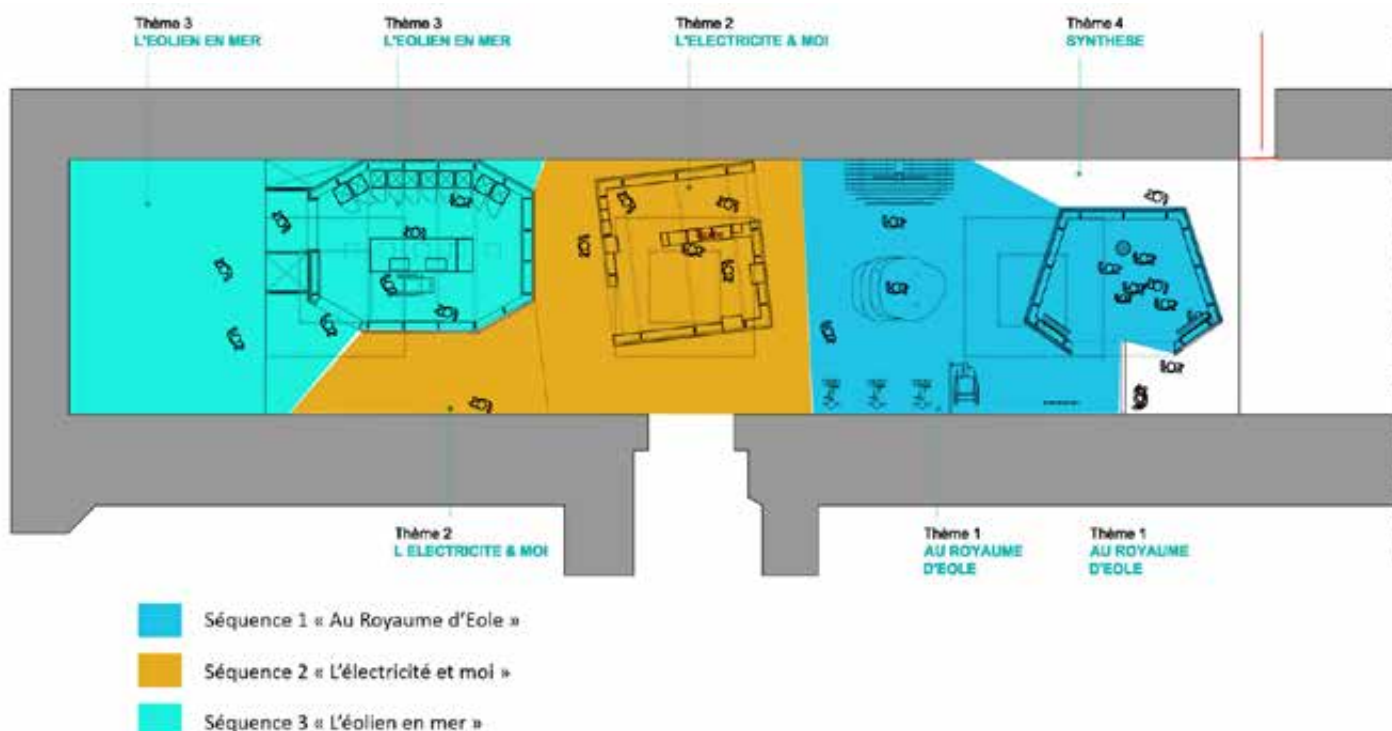
Partenaires financeurs du site

1

PRÉSENTATION GÉNÉRALE EOL - CENTRE ÉOLIEN

Abrité dans l'écluse fortifiée de Saint-Nazaire, le centre occupe 230m² de surface. Son contenu se décline en 4 séquences :

- **La séquence 1** « Au Royaume d'Eole » aborde l'utilisation du vent par l'Homme dans l'histoire.
- **La séquence 2** « L'électricité et moi » propose une plongée dans un monde électrique : de la consommation électrique au quotidien jusqu'aux grands enjeux de l'énergie électrique.
- **La séquence 3** « L'éolien en mer » s'intéresse au fonctionnement d'un parc éolien en mer : ses techniques, ses acteurs, sa conception, son exploitation jusqu'à son démantèlement.
- **La séquence 4** « Territoire » invite à une visite du territoire pour y découvrir les activités liées aux énergies marines renouvelables. Cette dernière séquence se déroule sur la terrasse panoramique.



Plan de masse d'EOL et du découpage en séquences.
Chaque séquence est identifiée par une couleur différente.

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



Cette première séquence se compose de deux temps :

- une série de trois vidéos introductives (1 minute chacune). Il s'agit de faire comprendre que le vent est universel, de toutes civilisations et de tous lieux, et qu'il a changé d'usage au fur et à mesure de son utilisation.
- un atelier d'expérimentation de la force éolienne.

Enjeux :

- Introduire les notions d'énergie
- Introduire les parallèles avec la technologie des éoliennes.

Trois vidéos introductives

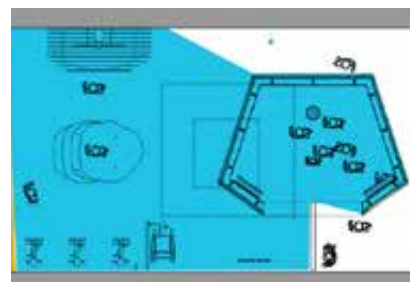
Première vidéo : Toutes voiles dehors

Premières utilisations de l'énergie éolienne dans l'histoire : la propulsion des navires. Au départ la voile est probablement utilisée dans les archipels du Pacifique (néolithique), puis utilisation certaine par les Égyptiens et les Chinois aux alentours de 4000 av. J.C. Elle n'est alors qu'un moyen secondaire de propulsion : l'aviron restera majoritaire jusqu'au Moyen-âge.

La principale innovation est l'invention et la diffusion de la voile latine, au VII^e siècle qui remplace les anciennes voiles. Plus souple et plus maniable, elle permet de suivre parfaitement le sens du vent. Elle va permettre les explorations océaniques du XV^e siècle et le développement du commerce à l'échelle d'un continent. La voile unique est alors le modèle le plus répandu.

Les siècles suivants verront un perfectionnement des techniques et matériaux : le nombre de mâts et de voile se multiplie. L'objectif est simple : mieux profiter de la force des vents et gérer sa variabilité pour propulser des navires de plus en plus lourds pour des expéditions de plus en plus lointaines.

L'aboutissement technique de la marine à voile se trouve dans les derniers grands voiliers du XIX^e siècle comme les Cap-Horniers (majoritairement fabriqués à Nantes et Saint-Nazaire) capables de traverser les océans en quelques jours. Mais après l'invention de l'énergie vapeur/moteur, lors de la Révolution industrielle (XIX^e siècle), la force éolienne est pratiquement abandonnée dans la navigation commerciale. Seuls les navires de plaisance conservent leurs voiles jusqu'à nos jours.



Tombe de Sennefer - vers 125 av. JC, Egypte - Photo ©Luisa Ricciarini/Leemage



Nef médiévale - XIII^e siècle - Les Grandes Chroniques de France de Charles V - Gallica, BNF.



Cap-Hornier, Charlemagne, fin XIX^e siècle. Coll. Maison des Hommes et des Techniques - Nantes.

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



Trois vidéos introductives

Deuxième vidéo : L'invention des moulins

Le moulin à vent est inventé vers 700 de notre ère. Il apparaît dans les zones arides d'Afghanistan et d'Iran et a pour vocation principale le pompage de l'eau. Abrité dans un petit bâtiment en terre qui oriente le moulin, il est équipé de chicanes qui canalisent le vent. Il est alimenté par le « vent de 120 jours » qui a l'avantage d'être constant, sans changement de direction. Le moulin est alors très différent des moulins occidentaux ultérieurs : l'axe de transmission est vertical et fixe. Les ailes sont en paille ou équipées de lanières de cuir ou de toile ou de roseaux. Le modèle s'exporte en Occident et dans le reste du monde durant les siècles suivants. La première mention d'un moulin à vent est connue en Angleterre au IX^e siècle. Mais la technologie mettra un certain temps à aboutir au moulin pivot, grande innovation médiévale : le moulin devient « à corps tournant ». L'ensemble du corps du moulin (ailes, mécanismes, meules...) peut s'orienter manuellement face au vent.



Moulin horizontal iranien traditionnel dans les années 1960. Library of Congress



Moulin pivot - XV^e siècle - enluminure du roman d'Alexandre - 1344 Bodleian Library, Oxford.

Révolution énergétique et âge d'or

Le moulin à vent se diffuse en Occident à partir des XIII^e et surtout XIV^e siècles. Moulin pivot puis moulin-tour (le plus répandu) ou encore moulin-cavier dans les Pays de la Loire. Ils sont principalement utilisés pour moudre le grain, mais également pour différentes activités mécaniques : pompage de l'eau (Pays-Bas...), pour le sciage, la fabrication du papier, le broyage du tabac... À la différence des moulins hydrauliques, plus anciens et déjà très bien implantés sur le territoire depuis la révolution énergétique (X^e au XI^e siècles), les moulins sont soumis à la présence et aux directions du vent : la ressource est moins constante et fiable que l'eau. Les moulins à vent se développent techniquement à partir du XVI^e et jusqu'au début du XX^e siècle. Les principales innovations : méthodes d'entoilage, ailes Berton (mi-XIX^e), engrenages en fonte puis en fer.

Au plus fort de l'activité au début du XX^e siècle, on estime qu'il y avait environ 200 000 moulins à vent en Europe. En Allemagne, 18 242 moulins à vent en 1895. Environ 20 000 en Finlande en 1900, 8 700 en France en 1847, 9 000 aux Pays-Bas en 1850.



Moulin pivot, XVIII^e siècle, Encyclopédie de Diderot et d'Alembert.

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



Trois vidéos introductives

Troisième vidéo : Adieu les ailes, bonjour les pales

La dernière évolution a lieu aux États-Unis. Pour exploiter les nouveaux territoires arides ou semi-arides de la conquête de l'Ouest, il faut de l'eau ! L'énergie nécessaire à son extraction des sols est dès lors fournie par des moulins d'un nouveau genre (à partir de la moitié du XVIII^e siècle). Adoptant des technologies utilisées en Hollande, un jeune ingénieur, Daniel Halladay, invente « le moulin à vent américain ». Avec une innovation de pointe : il multiplie les « voiles » et dote l'engin d'un mécanisme de vitesse. Si le vent souffle trop fort, la machine réduit la vitesse, évitant ainsi la dégradation. On parle alors de *moulin autorégulé*. L'intervention de l'homme n'est plus nécessaire. Ces pompes à eau éoliennes deviennent dès lors des images traditionnelles du folklore américain. Vers 1930, on estime leur nombre à environ 6 000 000 sur tout le territoire ! Au fur et à mesure, les « voiles » deviennent des « lames », des « boîtes » puis enfin des « pales » !

De l'énergie mécanique à l'énergie électrique !

En 1887 Charles F. Brush invente la première « turbine à vent » (traduction de *windbrush*, le nom anglais de l'éolienne). Cette immense machine de 17 mètres de diamètre est dotée de 144 pales de cèdre. Reliée à un générateur, elle produit 12 kW d'électricité : de quoi alimenter la maison des Brush avant l'arrivée des lignes électriques quelques années plus tard.

Au Danemark, le météorologue Poul La Cour découvre que les turbines à rotation rapide composées d'un nombre restreint de pales génèrent davantage d'électricité que celles plus lentes constituées de nombreuses pales. En 1891, il met au point des machines à 4 pales d'une puissance de 25 kW... Le début d'une toute nouvelle aventure...



Éolienne de Charles F. Brush, 1887.
Library of Congress



Les éoliennes d'essai de Poul la Cour en 1897, Poul la Cour Museet, Danemark.



Éolienne du XIX^e siècle au Texas, toujours en activité.
Library of Congress

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



FOCUS : LES DIEUX DES VENTS DANS LA MYTHOLOGIE

Le vent est une force invisible. Douce, ou forte, destructrice ou bénéfique. Pas étonnant que dès les premiers temps de l'humanité, on soupçonne une puissance divine derrière le phénomène. Tel **Eole**, maître des vents de la mythologie grecque. Il règne sur les **4 vents principaux**, associés aux quatre saisons, à la base de la rose des vents. Dans la mythologie les vents sont personnifiés par leurs caractéristiques : le vent qui apporte la pluie, le vent qui pousse les bateaux, le vent de l'hiver et des tempêtes.

Borée, le vent du nord, est un vieil homme rude à la chevelure flottante.

Zéphir, le vent d'ouest, au caractère si doux, prend les traits d'un jeune homme, habillé d'une cape remplie de fleurs.

Euros, le vent d'est, est un ombrageux vieillard.

Notos, le vent du sud, est représenté par un homme en train de renverser une jarre remplie d'eau.



Eole. Bas-relief romain sur marbre. II^e siècle av. JC.



Zéphir



Euros



Notos



Borée

James Stuart & Nicholas Revett. *The Antiquities of Athens measured and delineated by James Stuart, London, John Nichols, 1794*

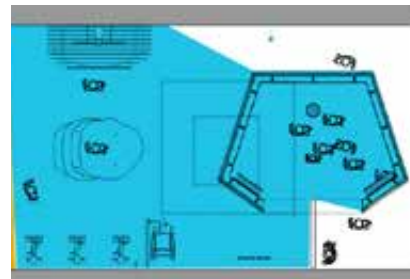
1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



L'atelier d'expérimentation de la force éolienne.

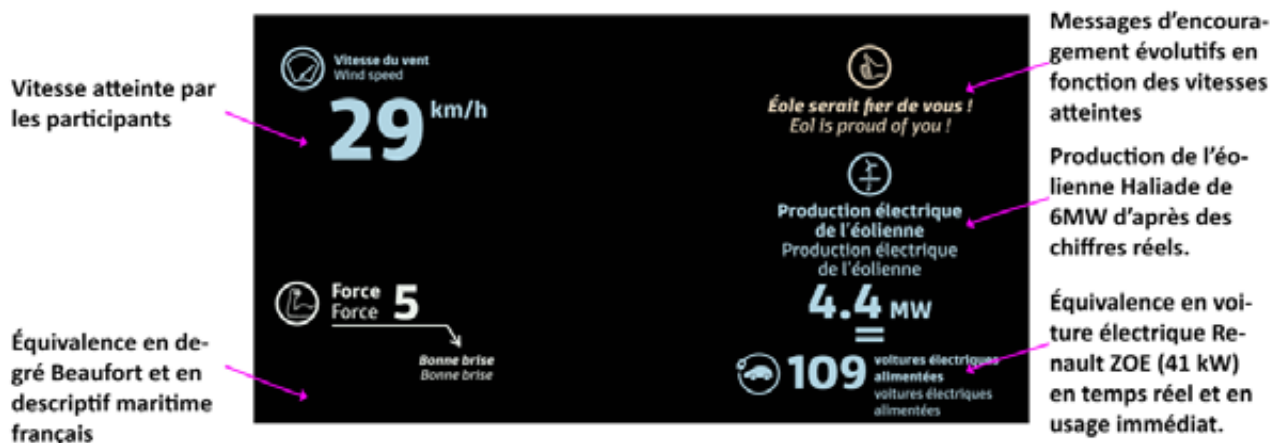
Le visiteur est invité à choisir l'un des dieux cardinaux de la mythologie grecque et à produire lui-même du vent par son activité physique (pédalage). Ce faisant, il fait tourner un modèle réduit (1/100e) d'éolienne moderne : l'haliade 150, l'éolienne qui équipe le parc éolien en mer de Saint-Nazaire.



Enjeux :

- Ressentir la force du vent
- Prendre conscience de l'énergie nécessaire pour faire tourner une éolienne et de la force potentielle des vents
- Comprendre qu'une éolienne produit de l'électricité grâce au vent
- Faire le lien entre les premières éoliennes électriques et les modèles modernes.

Indicateur



1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



Approfondissements : l'origine et la formation des vents

Qu'est-ce que le vent ?

C'est de l'air en mouvement. Le terme est généralement appliqué aux déplacements naturels horizontaux de l'atmosphère; les mouvements de direction verticale ou presque verticale sont des courants. Les vents sont produits par les différences de pression atmosphérique engendrées principalement par les différences de température. Les variations dans la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la Terre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Quand les températures de régions voisines deviennent inégales, l'air le plus chaud tend à s'élever et à s'écouler par-dessus l'air le plus froid et le plus lourd.

La direction des vents générés de cette façon est généralement grandement modifiée par la force de Coriolis résultant de la rotation de la Terre.

Les circulations d'air, les vents, s'expriment à différentes échelles. À l'échelle de la Terre, le rayonnement solaire est plus dense par unité de surface à l'équateur qu'aux pôles où il est tangentiel à la surface terrestre : très schématiquement, l'air chaud des zones équatoriales tend à se diriger vers les plus hautes latitudes, déterminant ainsi la circulation générale atmosphérique. À l'échelle régionale ou locale, les reliefs ou les différences de comportement thermique entre les océans et les continents peuvent créer des zones contiguës de basses et de hautes pressions à l'origine de vents comme le mistral, l'effet de foehn, ou les brises de terre et de mer. Au fil des saisons, les différences thermiques qui se manifestent entre l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud sont responsables de vents saisonniers comme les moussons, apportant, tour à tour, prospérité et catastrophes naturelles.

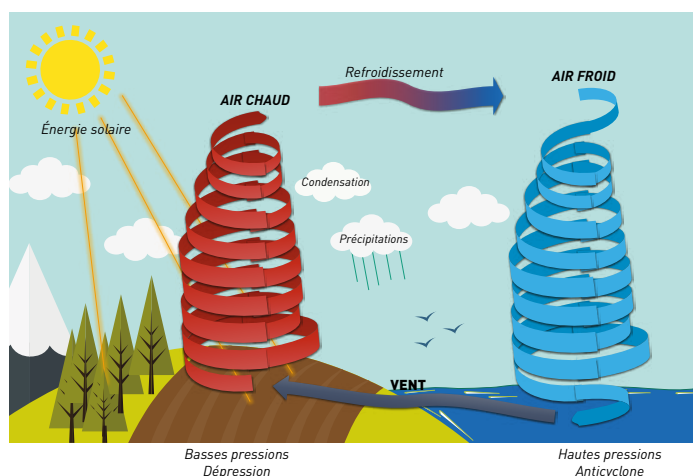
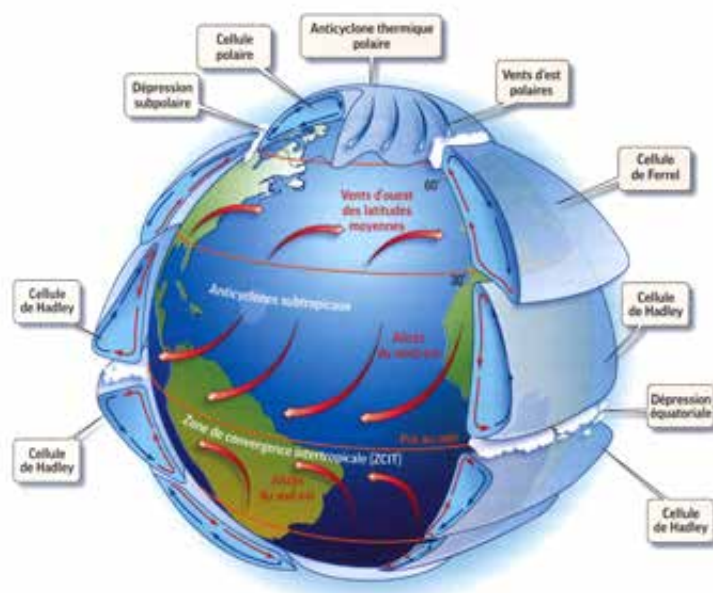


Schéma de la formation des vents



La circulation des vents à l'échelle de la terre (Source : B. Salviat, comment naissent les vent, Belin, 2015)

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



Approfondissements : l'origine et la formation des vents

La mesure des vents

La mesure du vent comprend deux paramètres : sa direction et sa vitesse (ou force).

L'**anémomètre** permet de mesurer la vitesse du vent. L'unité internationale de la vitesse du vent est le m/s. En aéronautique et en météo marine, on utilise le nœud. Pour le grand public, la vitesse du vent est exprimée en km/h.



Anémomètre à main,
Météo-France (c) DR



Girouette
Météo-France (c) DR

L'invention de la **girouette**, attribuée à Léonard de Vinci, daterait de la fin du XV^e siècle.

La girouette mesure la direction du vent en s'orientant dans le sens du vent. Elle s'exprime en points cardinaux – vent de nord, d'est... ou en degrés (de 0 à 360°).

Attention ! La direction désigne toujours la direction d'où vient le vent.

Sur les aéroports, aérodromes ou encore au bord des routes, on observe des « manches à air » constituées de 5 bandes de tissu rouge et blanc. Ces instruments permettent une bonne estimation du vent en surface tant en direction, qu'en force. Chaque bande représente 5 nœuds lorsqu'elle est soulevée à l'horizontal par le vent. Une manche à air complètement à l'horizontal signifie que le vent souffle à 25 nœuds (46 km/h) ou plus.



1

SÉQUENCE 1

AU ROYAUME D'ÉOLE



Approfondissements : l'origine et la formation des vents

L'échelle de Beaufort, une échelle visuelle pour déterminer la force du vent.

L'échelle imaginée par l'amiral britannique Beaufort au début du XIX^e siècle estime la vitesse du vent selon ses effets sur la marche d'un voilier, l'état de la mer, la fumée des cheminées et les arbres à terre. Pour concevoir cette échelle, l'amiral utilisa la voile de la frégate qu'il commandait comme instrument de mesure et détermina 12 degrés ou intervalles de vitesse de vent.

En 1874, l'utilisation de l'échelle de Beaufort est adoptée internationalement comme unité de mesure de la force du vent dans les observations météorologiques en mer. Elle sera utilisée jusqu'en 1946, date à laquelle l'Organisation météorologique mondiale décide que les observateurs en mer utiliseront le nœud comme unité de mesure de la vitesse du vent.

Degrés Beaufort	Termes descriptifs français (anglais)	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	Vitesse en m/s	État de la mer au large	Activités humaines	Végétaux	Oiseaux et invertébrés
0	calme (calm)	< 1	< 1	0 - 0,2	La mer est comme un miroir.	La fumée s'élève verticalement.	Immobilité.	Tous en vol. Fils de la Vierge dans l'air.
1	très légère brise (light air)	1 à 3	1 à 5	0,3 - 1,5	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans aucune crête d'écume.	Dérive de la fumée à peine perceptible.	Immobilité.	Les oiseaux planent dans les ascendances thermiques. Pucerons en vol ; les anémone décollent.
2	légère brise (light breeze)	4 à 6	6 à 11	1,6 - 3,3	Vagues lisses, courtes encore mais plus accusées ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse, mais elles ne déferlent pas.	Vent tout juste perçu au visage. Fumée à 30°.	Les feuilles frémissent.	Toutes les espèces en vol.
3	petite brise (gentle breeze)	7 à 10	12 à 19	3,4 - 5,4	Très petites vagues ; les crêtes commencent à déferler ; écume d'aspect vitreuse ; parfois quelques moutons épars.	Fumée à 70°. Poussière soulevée.	Brindilles agitées.	Sauterelles, pucerons et anémone au sol.
4	légère brise (moderate breeze)	11 à 16	20 à 28	5,5 - 7,9	Petites vagues devenant plus longues ; moutons franchement nombreux.	Fumée à 50°. Cheveux dérangés et vêtements qui claquent.	Petites branches agitées.	Pic d'activité pour le vol plané en mer. Coléoptères au sol ; les moustiques cessent de piquer.
5	bonne brise	17 à 21	29 à 38	8,0 - 10,7	Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongée ; naissance de nombreux moutons (éventuellement des embruns).	Fumée à 30°. Vieux glisés par les suspensions dans l'air. Sensation de piquetement sur le visage si température négative. Le grèlement commence à siffler.	Petites arbres feuillus agités.	Asile des oiseaux migrateurs nocturnes. Mouches au sol, sauf les taons.
6	vent frais	22 à 27	39 à 49	10,8 - 13,8	Des lames commencent à se former ; les crêtes d'écume blanche sont partout plus étendues (habituellement quelques embruns).	Fumée à 15°. Marches goudonnées par les côtes.	Grandes branches agitées.	Peu de petits percheurs en vol. Abeilles au sol.
7	grand frais	28 à 33	50 à 61	13,9 - 17,1	La mer grossit ; l'écume blanche qui provient des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées qui s'orientent dans le lit du vent.	Fumée à 5 ou 10°. Piquetement au visage par température inférieure à 3° C. La marche devient difficile.	Arbres entiers agités.	Petits percheurs au sol. Papillons au sol.
8	coup de vent	34 à 40	62 à 74	17,2 - 20,7	Lames de hauteur moyenne et plus allongées ; du bord supérieur de leurs crêtes commencent à se détacher des tourbillons d'embruns ; l'écume est soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	Progression impossible en général.	Les brindilles cassent.	Martinets, canards, hirondelles et quelques rapaces encore en vol. Parmi les invertébrés, seules les libellules sont en vol.
9	fort coup de vent	41 à 47	75 à 88	20,8 - 24,4	Grosses lames ; épaisses traînées d'écume dans le lit du vent ; les crêtes des lames commencent à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux ; les embruns peuvent réduire la visibilité.	Enfants renversés.	Les branches cassent.	Martinets seuls en vol. Tous les insectes au sol.
10	tempête	48 à 55	89 à 102	24,5 - 28,4	Très grosses lames à longues crêtes en panache ; l'écume produite s'agglomère en larges bancs et est soufflée dans le lit du vent en épaisses traînées blanches ; dans son ensemble, la surface des eaux semble blanche ; le déferlement en rouleaux devient intense et brutal ; la visibilité est réduite.	Adultes renversés.	Arbres déracinés.	Tous au sol.
11	violente tempête	56 à 63	103 à 117	28,5 - 32,8	Lames exceptionnellement hautes (les navires de petit et de moyen tonnage peuvent par instant être perdus de vue) ; la mer est complètement recouverte de bancs d'écume blanche dirigés dans la direction du vent ; partout le bord des crêtes des lames et du fond de la mouche ; la visibilité est réduite.	Effets du vent sur la mer au large, sur les activités humaines, sur les végétaux et sur le monde animal.		
12	ouragan	≥ 64	≥ 118	32,7 et plus	L'air est plein d'écume et d'embruns ; la mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écume dérivante ; la visibilité est très fortement réduite.	Les équivalences degrés Beaufort, nœuds, km/h et m/s, ainsi que l'effet du vent sur la mer proviennent des documents de l'OMM. Les effets sur les activités humaines, les végétaux et le monde animal sont extraits de <i>Le souffle d'Éole</i> , Lynn Watson, Landreys. Les effets du vent sur la fumée et sur le visage sont extraits d'une étude effectuée à bord d'un navire météo canadien, parue dans <i>The Marine Observer</i> n° 152, 1951.		

*. Les vitesses indiquées concernent le vent moyen sur 10 minutes (et non les rafales) mesuré à 10 mètres de hauteur.

Météo-France (c) DR

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



BIBLIOGRAPHIE

LIVRES DOCUMENTAIRES

Energie : la science peut-elle changer la donne ?

Pierre Papon - Editions Le pommier

On le sait, les contraintes pesant sur l'offre et la demande d'énergie sont fortes, mais notre avenir énergétique repose-t-il uniquement entre les mains de l'économie et de la géopolitique ? Non : la science et la technologie peuvent, tôt ou tard, changer la donne. À plusieurs reprises dans le passé, en effet, des « ruptures » scientifiques et techniques ont changé radicalement les modes de production et de consommation de l'énergie. Quelles seront alors, à l'horizon 2050, les ruptures ouvrant la voie à de nouvelles filières énergétiques ou à de nouveaux modes de consommation de l'énergie ?

L'énergie à petits pas

François Michel - éditions Acte Sud Junior

François Michel revient ici en expliquant les différentes énergies (le titre singulier peut être trompeur), qu'elles soient fossile, solaire, hydraulique ou nucléaire. Un premier chapitre permettra de comprendre ce qu'est l'énergie, son histoire et sa répartition. Dans un second chapitre, sont déclinées les différentes énergies naturelles. On retiendra ensuite nos sources d'énergies actuelles, de l'électricité au charbon, du pétrole au nucléaire. Enfin, dans un chapitre consacré à l'avenir de l'énergie, l'auteur insiste sur sa gestion, sur les risques et sur la préservation de l'environnement.

Des trésors d'énergie

Jean-Pierre Verdet Donald Grant Gallimard Jeunesse

Que ce soit notre énergie humaine, ou celle fournie par les éléments tels que l'eau et le vent, les matières premières, le charbon ou le pétrole, il faut savoir l'utiliser, la transformer en énergie électrique, la conserver, la transporter...sur la préservation de l'environnement.

Le vent

Anna Skowronska - Albin Michel jeunesse

Le vent est un phénomène naturel provoqué par un des quatre éléments, l'air. Il peut être utile mais aussi extrêmement dangereux, ce qui le rend à la fois passionnant et mystérieux. Comment se forme-t-il ? Quelles conséquences peut avoir une tornade ? Qui a réussi l'exploit de survoler l'Himalaya en planeur ? Où souffle le simoun ou bien le mistral ? Un documentaire fascinant qui nous emmène dans un formidable voyage au gré du vent.

Vive le vent

Collectif - Walden - coll. Les Explorateurs

Un livre pour se plonger dans la complexité d'un phénomène météo courant : le vent et découvrir toutes ses facettes : origines, mesures, implications dans les phénomènes climatiques et météorologiques.

Le Vent

Marie-Lyne Mangilli Doucé - Rusti' Kid - coll. Je Joue Avec Les Elements

23 activités ludiques et expériences pédagogiques autour du vent : moulin, cerf-volant, mobile, etc...

Les Expériences Clés des Petits Débrouillards : l'Air

L'association française des Petits Débrouillards - Albin Michel Jeunesse

Cet ouvrage centré sur l'air propose aux curieux de faire, à la maison, des expériences faciles et amusantes qui les mènent à réfléchir, et surtout, à comprendre. Les 40 expériences s'organisent en 4 grands thèmes : Les différentes propriétés de l'air - Pourquoi l'air est vital - L'air et les vents - Les déplacements dans l'air.

Les Énergies

Cathy Franco - Fleurus - coll. La Grande imagerie

Grâce à ce documentaire riche en images, apprend tout ce qui concerne les énergies : les types d'énergies, les innovations, l'importance de les préserver et d'en trouver de nouvelles, plus propres...

1

SÉQUENCE 1 AU ROYAUME D'ÉOLE



BIBLIOGRAPHIE

LIVRES FICTIONS

Et si... Le vent ?

Cécile White - Planète rêvée

Mistral, mousson, bourrasque, bise, simoun et autres alizés... Et si tous les vents du monde se donnaient rendez-vous pour susurrer, séduire, enchanter, gronder, chanter les mystères et beautés de la terre. Ronchonnant, guilleret, timide, inquiétant parfois ou alors distrayant, glacial ou brûlant, tous ont leur personnalité propre, mais tous ont surtout leur rôle à jouer dans le grand carrousel de la vie sur Terre.

Le jouet des vents

Eric Puybaret - éditions La Martinière jeunesse

Le bonheur est aussi insaisissable que le vent.

Une quête magnifiquement interprétée par un grand nom de l'illustration.

RESSOURCES EN LIGNE

Fondation La Main à la Pâte : activités autour du vent

<https://fondation-lamap.org/temoignage-d-enseignant/etude-du-vent>

Ressources et outils Météo-France

<http://education.meteofrance.fr/ecole/activites-experimentales/l-air>

Jamy - #Chezjamy : d'Où vient le vent ?

<https://www.youtube.com/watch?v=nylt0cbMoy8>

C'est pas sorcier : Du vent dans les voiles

<https://www.youtube.com/watch?v=L4JBaZY3A28>

C'est pas sorcier : la Météo

<https://www.youtube.com/watch?v=ldlhPV5u0jk>

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



L'électricité est partout autour de nous. Nous en oublions même à quel point elle est récente ! Trois clés d'entrée sur cette deuxième séquence : la publicité, les objets électriques du quotidien et l'évolution de la production électrique. Une manière simple pour comprendre comment la fée électricité est entrée petit à petit dans nos vies. L'électricité est ainsi évoquée par ses applications concrètes. La publicité nous amène doucement le long du XX^e siècle jusqu'à nos jours : on se rend compte de la diversité des applications et de leur multiplication. De l'essentiel (chauffage, cuisine, communication...) jusqu'aux objets moins vitaux. Le portrait dressé en creux est celui d'une société qui ne saurait plus se passer de l'électricité dans tous les aspects de la vie quotidienne.



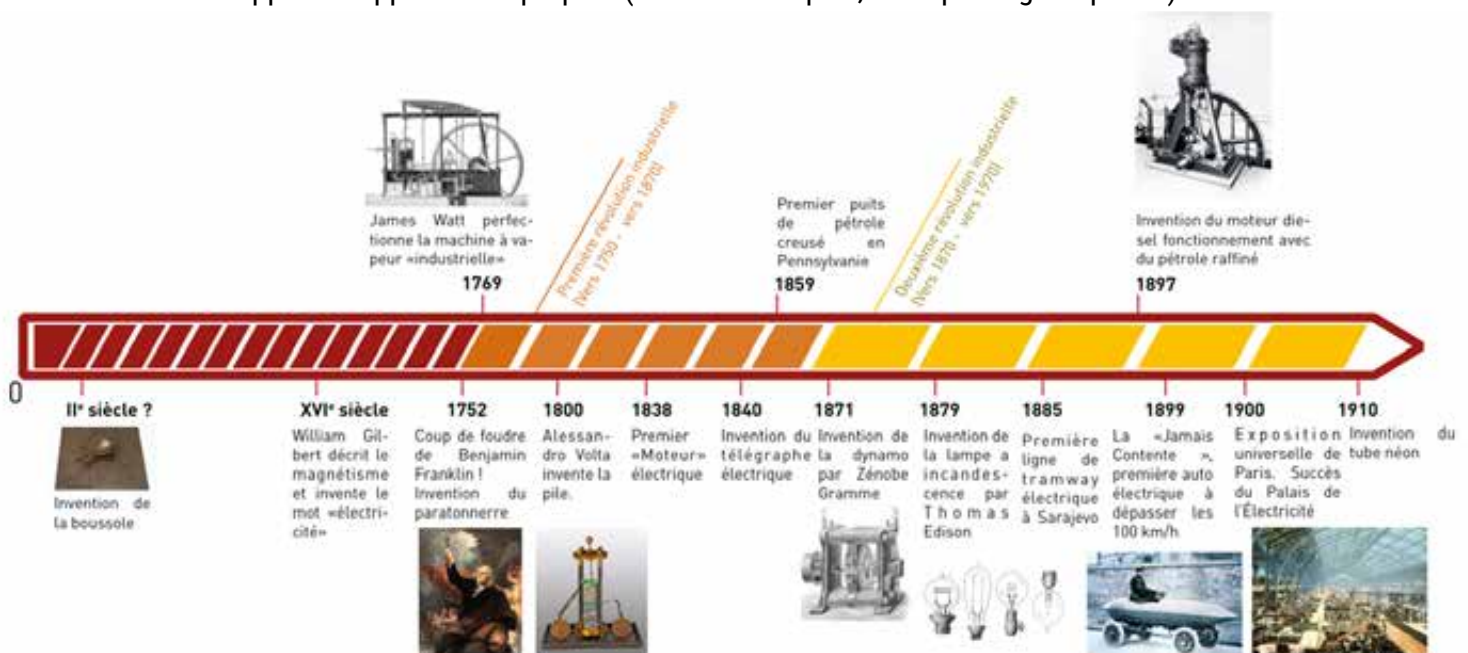
Enjeux :

- Découvrir les usages de l'électricité et leur évolution
- Appréhender les notions de production électrique
- Comprendre les enjeux de la transition énergétique

Une nouvelle énergie qui change tout !

Alors que le charbon et la vapeur (énergie thermique) sont les sources principales d'énergie de la révolution industrielle des XVIII^e et XIX^e siècles, une nouvelle énergie émerge à la fin du XIX^e siècle. Ce n'est pas une énergie primaire et pas tout à fait une énergie secondaire : c'est une énergie particulière qui présente de nombreux avantages : la fée électricité.

- L'électricité est transportable en elle-même loin des lieux de production (on parle d'énergie vecteur)...
- Elle remplace l'énergie thermique avec moins de nuisances.
- Elle développe des applications propres (ondes électriques, champs magnétiques...).



2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI

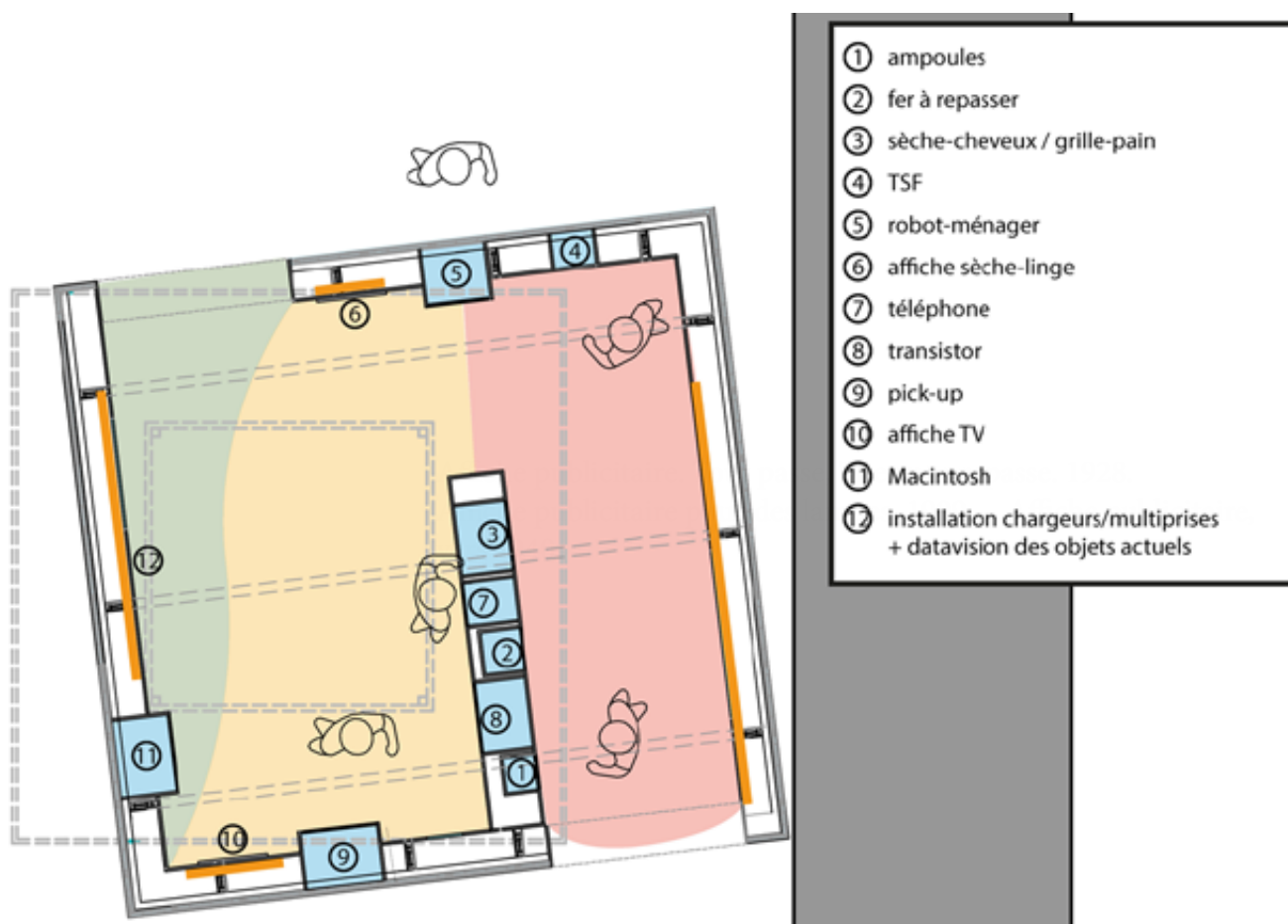


L'évolution des objets du quotidien

Les objets présentés proviennent des collections du Musée Electropolis de Mulhouse. Il s'agit d'objets du quotidien, très fréquents dans les foyers : ce sont les «meilleures ventes» de leur époque respectives. Ils représentent ainsi un échantillon des objets électriques vendus en masse depuis l'arrivée de l'électricité dans notre quotidien. Chaque objet est l'occasion d'aborder une thématique précise.

L'espace est divisé en trois époques :

- Au début du XX^e siècle
- De 1945 à 1980
- De 1980 à nos jours



2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



L'évolution des objets du quotidien

Au début du XXe siècle

1880 - Et la lumière fut !

La lampe à incandescence arrive en France en 1881. Elle permet à l'éclairage électrique d'entrer dans les foyers et aux premiers réseaux électriques de se développer dans les villes. Mais dans les années 1920, seule la moitié des communes françaises est électrifiée.

Focus sur les lampes :

Les premières lampes (filament de carbone) avaient une durée de vie de 14 heures. 500 heures environ pour la technologie à filament métallique. Et environ 1000 heures pour celles remplies de gaz inerte. Les industriels ont réussi à produire des lampes fonctionnant plusieurs milliers d'heures dès le début du XXe siècle. Mais pour forcer le public à les remplacer plus régulièrement, les technologies ont été bridées.

1920 - L'âge de fer

Fer à repasser Calor, modèle 1917

Vers 1920, le fer à repasser est le premier appareil électrique à entrer dans les foyers. Plus simple à utiliser (et plus propre) que son ancêtre à braise, il reste réservé à une clientèle aisée... disposant de l'électricité à la maison.

1930 Petits objets...nouveaux usages

Grille-pain Calor, modèle 1932 / Sèche-cheveux Calor, modèle 1927

Mis en avant par la publicité, de nouveaux objets électriques s'installent dans les foyers. Comme la « douche électrique à air chaud et froid » ou sèche-cheveux manuel, un modèle produit jusque dans les années 1960 !

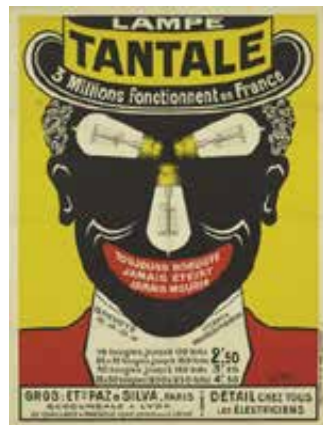
1935 - De la T.S.F. à la radio

Poste T.S.F. Pathé, vers 1935

Premier équipement de communication grand-public, le récepteur TSF (Téléphonie Sans Fil) se banalise à la fin des années 1930. Il occupe souvent une place importante dans le salon. L'appareil est resté associé dans l'imaginaire à la Deuxième Guerre mondiale et aux messages de Radio Londres.

En écoute :

Émission de 1943 des actualités nationales présentant l'invention de l'œuf électrique par l'artiste Paul Arzens (1903-1990). Dans cette petite voiture électrique au design très moderne, Arzens place cinq batteries totalisant un poids de 300 kilogrammes, offrant une autonomie de 100 kilomètres et autorisant une vitesse de 70 kilomètres/heure. Contrairement aux idées reçues, les véhicules électriques existent depuis le début du XXe siècle.



Affiche publicitaire pour des lampes. 1909.

Coll : Musée Electropolis



Affiche publicitaire. Tout passe, Thermor repasse. 1928.

Coll : Musée Electropolis



Affiche publicitaire vers 1940.

Coll : Musée Electropolis

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



L'évolution des objets du quotidien

De 1945 à 1980

1956 - Des robots à la maison

Robot de cuisine Peugeot, 1956.

Révolution dans les cuisines ! Le robot ménager électrique coupe, mixe, râpe, hache... sans effort. L'électricité est plus que jamais présentée comme moderne et indispensable au confort quotidien. Le four devient électrique et le réfrigérateur, équipement phare des cuisines fait son apparition.

1947 - Plus blanc que blanc

Laveuse électrique Lavix, affiche de Kalischer, vers 1947

Gros consommateur d'électricité, le lave-linge est le premier appareil de gros électroménager à équiper les foyers français. Sa vente est dopée à partir de 1963 par la campagne du « compteur bleu ». Grâce au renforcement du réseau électrique, il devient alors enfin possible d'utiliser des appareils de forte puissance.

1963 - Le téléphone pour tous

Téléphone Ericsson, modèle 1963.

Inventé en 1876, l'usage du téléphone électrique se propage dans la première moitié du XX^e siècle. Mais la qualité du réseau téléphonique français, longtemps considéré comme non prioritaire, laisse à désirer. Il faut attendre les décennies 1960 et 1970 pour que le téléphone investisse massivement les foyers français.

1965 - A la plage

Transistor Nordmende, 1965

Finie les écoutes radio en famille. Dès 1956, c'est chacun son récepteur radio avec le « Transistor ». Succès foudroyant : en 1961, on en fabrique 2 millions d'unité. Petit, léger, peu cher, il représente la nouvelle possibilité de s'informer partout et tout le temps.

En écoute :

Extrait du journal de 19h de France Inter, 1969. Météo marine. Lien avec le vent, et le parc éolien en mer.



Affiche publicitaire pour une laveuse électrique 1947.
Coll : Musée Electropolis



Affiche publicitaire. 1967.
Coll : Musée Electropolis



Affiche publicitaire EDF. 1979.
Coll : Fondation EDF

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



L'évolution des objets du quotidien

De 1945 à 1980

1956 - Montée dans les tours

Tourne-disque Teppaz, 1956

L'ère de la mobilité continue : l'électrophone, ou tourne-disque, envahit les foyers en commençant pas les jeunes. Grâce aux matières plastiques et à la miniaturisation des circuits électroniques, ces produits deviennent colorés et de plus en plus portatifs.

1970 - La télé dans tous les foyers

Le téléviseur, inventé en 1935, est un appareil de luxe qui ne se démocratise qu'après-Guerre. En 1968, 50 % des ménages français sont équipés. Dix ans après, plus de 80 % ! C'est le premier écran à occuper en permanence nos salons.

De 1980 à nos jours

1984 - L'ordinateur entre en scène

Ordinateur personnel Tandy/RadioShack TRS-80, 1984

Le TRS-80 fait partie des premiers modèles d'ordinateurs qui équipent les foyers à partir des années 1980.

Avec un affichage monochrome, des chiffres et des majuscules, son usage reste en général restreint à quelques jeux et un peu de bureautique. Les débuts du réseau internet en France dans les années 1990 vont vite faire oublier ces appareils, témoins des débuts de la « révolution numérique ».

Taux d'équipement des ménages en France :

95% des ménages français possèdent un téléviseur

96% des ménages français possèdent un lave-linge

82% des ménages possèdent un ordinateur

95% des ménages possèdent un téléphone portable

99% des ménages français possèdent un réfrigérateur

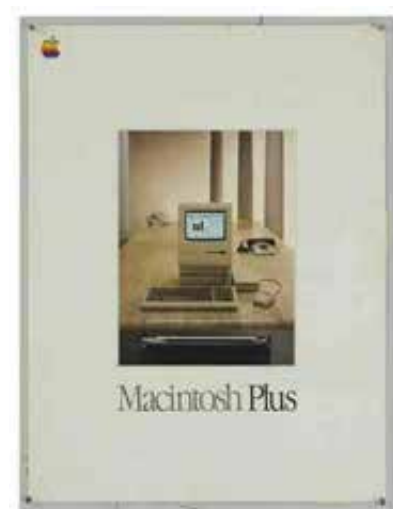
Source : INSEE 2020

Un **foyer français** possède en moyenne **5,6 écrans** permettant de regarder une vidéo en 2021.

Source : ARCOM, 2022



Affiche publicitaire Philips par R. Gélang, 1958
Coll : Musée Electropolis



Affiche publicitaire Macintosh Plus, 1986.
Coll : Musée Electropolis

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



La production électrique en France dans l'histoire

La production électrique en France

Avantage eau

Après la Seconde Guerre mondiale, le charbon apparaît comme peu stratégique. L'hydraulique est privilégiée avec de grands projets de centrales (barrages, lacs...). Dans les années 60, plus de la moitié de l'électricité produite est verte, ou plutôt bleue !

Production électrique en France



Le temps du charbon... et de l'eau

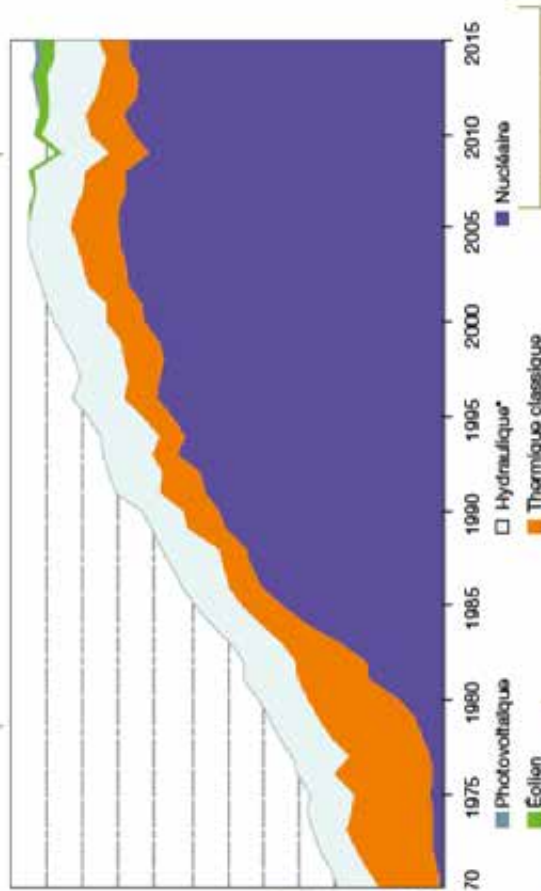
L'électricité est produite à 50 % à partir du charbon (houille) dans des centrales thermiques. Dans le même temps, le réseau hydroélectrique se développe et assure la moitié de la production.

Avantage brut

Le pétrole (le fioul, peu cher et abondant, remplace progressivement le charbon dans les centrales thermiques. Mais le premier (1973) et second choc pétrolier (1979) remettent en cause la capacité d'indépendance stratégique.

Le temps de l'atome

Le programme nucléaire français, lancé dans les années 1950, prend de l'ampleur jusqu'à atteindre une part inégale dans la production : en 1990, 75 % de l'électricité est d'origine nucléaire. Avantage : cette énergie n'émet que peu de CO₂. Inconvénient : elle demande d'importer des matières premières rares et difficiles à stocker et à recycler.



Le temps du vert

Les conférences mondiales et les accords internationaux s'enchaînent autour d'une prise de conscience globale : l'impact de la production énergétique sur le climat. La France s'associe aux accords internationaux et s'engage dans un plan de développement des énergies renouvelables : ses dernières augmentent fortement, éolien et solaire en tête (le biomasse).

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



La production électrique en France

Tous ces objets du quotidien (machine à laver, frigidaire, téléphone portable, ordinateurs...) ne fonctionnent qu'à l'électricité ! Il n'y a pas d'alternative aujourd'hui pour les alimenter.

6 techniques en France aujourd'hui pour fabriquer l'électricité à partir de différentes sources d'énergie :



Centrale nucléaire

Production d'électricité par fission des atomes. Le parc actuellement en exploitation comporte 19 centrales composées de 58 réacteurs REP (réacteurs à eau pressurisée). La plus proche centrale nucléaire pour les Pays de la Loire est celle de Chinon (37).



Centrale thermique fossile

Production d'électricité par combustion d'énergie fossile : 85 % du gaz, 10 % du charbon et 5 % du fuel. Dans les Pays de la Loire se trouve encore une centrale à charbon en activité à Cordemais (44).



Centrale hydraulique

Production d'électricité par utilisation de la force de l'eau. Le parc comporte 433 centrales, de barrages de montages jusqu'à de petites centrales au fil de l'eau sur les cours d'eau. En Pays de la Loire, on compte ainsi 35 petites unités de production.



Centrale photovoltaïque

Production d'électricité par utilisation de la lumière du soleil. Conversion de l'énergie solaire en électricité par des panneaux photovoltaïques. Des milliers de mini centrales en France, connectées au réseau électrique.



Parc éolien

Production d'électricité par utilisation de la force du vent. Les éoliennes peuvent être installées dans des parcs à terre ou en mer, comme à Saint-Nazaire.



Centrale thermique renouvelables et déchets

Production d'électricité par combustion de déchets, de biogaz et de biomasse (bois...). Nombreuses unités de production installées en région.

Pour évoquer la répartition de ces différentes sources d'énergies primaires utilisées pour produire de l'électricité on parle de mix (ou bouquet) électrique.

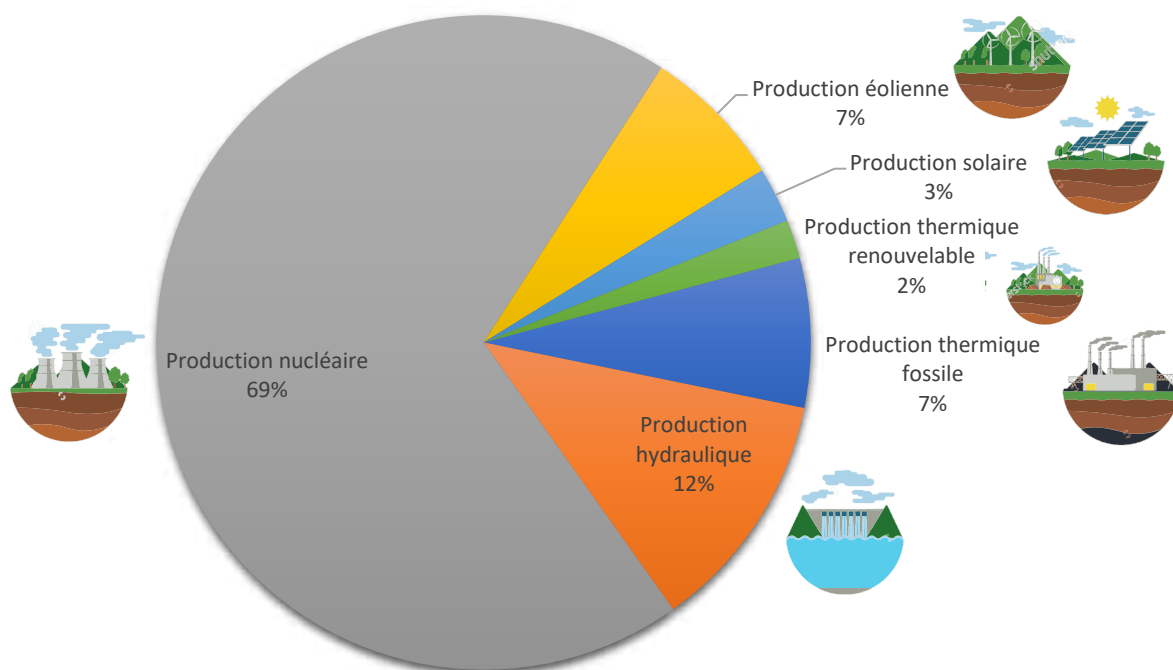
2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



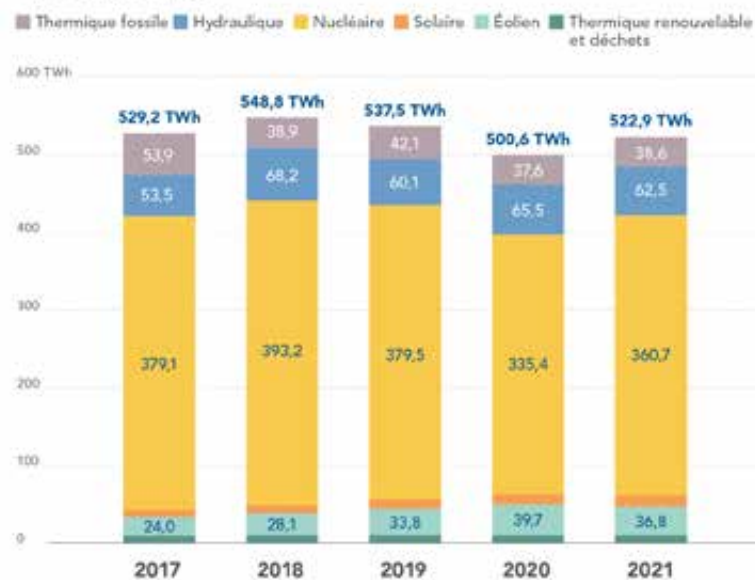
La production électrique en France

Production électrique en France en 2021



22.5 % de l'électricité produite en France en 2022 est issue de ressources renouvelables

Évolution de la production d'électricité en TWh, entre 2017 et 2021



Sources : RTE, bilan énergétique 2022

Entre 1980 et 2008, la production électrique a doublé en France. Mais depuis 2008, la production d'électricité en France se stabilise malgré la croissance démographique, l'augmentation du nombre de foyers, développement du chauffage électrique, des transports urbains électriques et des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

Les raisons : le contexte économique, l'utilisation d'équipements moins énergivores et les meilleures performances énergétiques des bâtiments (réhabilitation ou constructions neuves...).

Pour l'avenir, des transferts d'usages énergétiques vers l'électricité sont également à prévoir (transports ferrés, véhicules électriques, pompes à chaleur, etc.).

La part des énergies renouvelables augmente progressivement dans la production, l'énergie nucléaire restant largement majoritaire.

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



Mix électrique et transition énergétique

Les éléments importants du mix électrique

Que se passe-t-il quand j'appuie sur l'interrupteur à la maison ?

La lumière s'allume ! Mais derrière le compteur, c'est une autre histoire : l'électricité a parcouru du chemin depuis son « usine de production » pour parvenir jusqu'à chez nous. Des unités de production, il y en a des milliers en France, réparties sur tout le territoire, sous des formes très différentes et utilisant des ressources variées : le gaz, le charbon, le pétrole mais aussi l'hydraulique, le nucléaire, l'éolien, l'énergie solaire, la biomasse...

L'électricité qui vient d'allumer notre ampoule est issue d'un mélange, ou mix, de sources : on parle de mix électrique .



L'électricité ne se stocke pas, ou difficilement et à des coûts élevés.

Il n'est donc pas possible de faire des réserves. La production doit à tout moment s'adapter à la demande.

La loi confie au gestionnaire du réseau public de transport d'électricité (RTE) le soin d'assurer en temps réel l'équilibre entre l'offre et la demande.

Pour cela, il mobilise des réserves de puissance, grâce aux différents outils de production électrique en France (et en Europe).



La demande d'électricité est variable, dépendant de la saison, du jour de la semaine, de l'heure de la journée, de la température extérieure, de l'ensoleillement, etc. Sa prévisibilité s'améliore au fur et à mesure que l'on se rapproche du temps réel, mais ne peut être parfaite.

Les moyens de production thermiques (nucléaire, gaz, charbon, fioul, diesel...) ont une **disponibilité élevée**.

En revanche, la production d'électricité **d'origine éolienne ou photovoltaïque est par nature intermittente**. La variabilité de la production d'électricité à partir de ces énergies renouvelables n'implique pas nécessairement la construction de moyens de production thermiques supplémentaires.



L'électricité se transporte mal sur de longues distances. La production se fait au plus proche de la consommation.

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



Mix électrique et transition énergétique

La transition électrique : quel avenir pour l'électricité ?

Aujourd'hui, tous les futurs énergétiques sont possibles. Les scénarios établis par RTE, concernant les moyens de produire de l'électricité mais aussi de l'utiliser sont variés. Sobriété énergétique, économies d'énergie, développement des sources renouvelables sont avant tout des choix collectifs. Ces choix seront guidés par les exigences climatiques matérialisés pour la France par la loi sur la transition énergétique de 2015.

Pour l'électricité, cela correspond à trois objectifs principaux :

- **Diversifier la production d'électricité et baisser à 50% la part du nucléaire d'ici 2040**
- **Porter la part des énergies renouvelables à 32% de la consommation d'énergie finale en 2030 et 40 % de la production d'électricité,**
- **Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012.**

Toutes les sources de production d'énergie, renouvelables ou non, ont un impact sur l'environnement. Le bilan carbone de chaque technologie a néanmoins été calculé, même s'il reste parfois débattu. Les énergies fossiles – charbon, pétrole et gaz naturel – ont un impact nettement plus important sur le climat que les sources de production renouvelables.

En 2021, la production d'électricité en France a été assurée à plus de 92% par des sources n'émettant pas de gaz à effet de serre. L'intensité carbone du mix électrique français demeure donc l'une des plus faibles du monde (intensité carbone de 36 gCO₂/kWh, soit 6 fois moins que la moyenne européenne).



New York, coupure d'électricité suite à l'ouragan Sandy, Christophe Jacrot



Paris, Villes éteintes, Thierry Cohen



Tokyo, Villes éteintes, Thierry Cohen



La terre éclairée, vue de l'espace. NASA 2016.

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



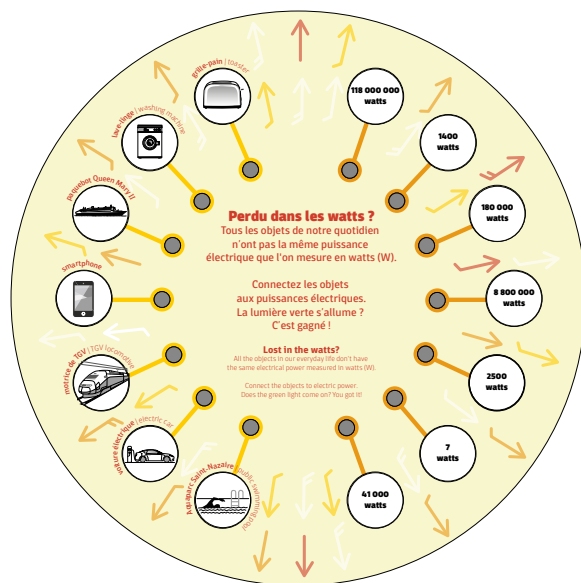
Ordres de grandeur électriques

L'ampoulomètre

Ce dispositif permet de découvrir la puissance (exprimée en Watts / W) de quelques appareils électriques du quotidien ou plus extraordinaires.

On parle le plus souvent de watts (W), de kilowatts (kW), de wattheures (Wh) et de kilowattheures (kWh), sans forcément bien comprendre de quoi il s'agit. Voici donc un petit rappel sur la signification de ces unités de mesure.

- Le **watt** est une unité de puissance. Il exprime la puissance énergétique instantanée utilisée par un appareil.
- Le **kilowatt** est un multiple du watt. 1 kW équivaut à 1 000 W ; donc un appareil qui consomme 1 kW utilise 1 000 W (1 000 joules par seconde).
- Le **wattheure** permet quant à lui de mesurer l'**énergie consommée sur une période donnée** (1 heure) par un appareil consommant 1 W.
- Le **kilowattheure** est son multiple. Il correspond à l'énergie consommée en 1 heure par un appareil affichant une consommation de 1 000 W. 1 kWh est donc l'équivalent de 1 000 Wh.



Quelques ordres de grandeur :

Nom	Puissance (W)
Ampoule à LEDs	4 W
Téléphone portable	7 W (en moyenne)
Ordinateur portable	60 W (en moyenne)
Téléviseur 32 pouces à LEDs	80 W
Sony Playstation 5	250 W
Grille-Pain	1400 W
Lave-linge	2500 W
Voiture électrique (Zoé)	41 000 W (41 kW)
Aquaparc (piscine municipale)	180 000 W (180 kW)
Motrice de TGV	8 000 000 W (8 MW)
Queen Mary 2 (paquebot transatlantique)	118 000 000 W (118 MW)

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



Paysages électriques

Les énergies marines renouvelables

Pour répondre aux objectifs de la transition énergétique, une des solutions consiste à diversifier les ressources de production d'électricité.

Mers et océans sont en mouvement permanent : ça bouge, ça souffle, ça monte, ça descend. Au-dessus des flots ou sous l'eau, que d'énergie ! Et complètement renouvelables. Avec 11 millions de kilomètres carrés, la France dispose de la deuxième surface maritime au monde. Les possibilités d'utiliser ces énergies marines renouvelables sont donc immenses ! Comment transformer ces forces naturelles en énergie ?

Énergie des marées

L'énergie marémotrice consiste à exploiter l'énergie issue des marées en utilisant la différence de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse.



Technologie installée en France depuis 1966

Énergie des courants marins

Pour capter la force des courants sous-marins, on utilise des hydroliennes, les cousines aquatiques des éoliennes.



Technologie en cours d'essai en France

Énergie des vagues

L'énergie houlomotrice ou énergie des vagues désigne la production d'énergie électrique à partir de la houle. Il existe différents dispositifs pour exploiter cette énergie.



Technologie en cours d'essai en Europe

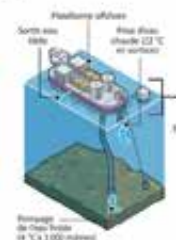


Énergie thermique des mers

Qu'énergie maréthermique consiste à exploiter la différence de température des océans entre les eaux de surface et les eaux profondes afin de produire de l'électricité.



Technologie en cours d'essai en France (La Réunion)



Énergie osmotique

Énergie exploitable en utilisant la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. La centrale doit être installée près d'un estuaire par exemple, où l'eau salée de l'Océan rencontre l'eau douce d'un fleuve.



Technologie en cours d'essai en Europe

Énergie éolienne en mer

Transformer la force des vents marins en électricité grâce à des éoliennes. Deux technologies existent : l'éolien posé, fixé sur les sols marins, et l'éolien flottant, sur des plateformes.



Technologie en cours d'essai en France



Technologie installée en Europe depuis 1986

2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



Ateliers : l'électricité

Travail de préparation en classe préalable à la visite.

Utilisation possible de la mallette départementale (Loire-Atlantique) «Electricité»

Exemple de problématique :

Nous avons étudié les différentes sources d'énergie et remarqué l'importance de l'électricité dans notre quotidien.

Voici le plan d'une maison. Nous devons allumer cette pièce.

De quoi avons- nous besoin ?

Une ampoule, peut être aussi une pile, des fils (réponses attendues)

Demander à chaque enfant de dessiner une ampoule telle qu'il se l'imagine et dire de quoi elle est constituée. On compare (dessins au tableau) et on en observe collectivement une grande ampoule.

Définitions et vocabulaire (lampe, culot, plot, filament, pôle)-

Fournir le schéma intérieur de l'ampoule.(projection tableau blanc)

Mise en place de l'hypothèse : **Comment allumer une ampoule avec une pile plate ?**

Fournir aux enfants un dessin avec pile plate et ampoule.

Faire passer au tableau des élèves avec différentes hypothèses s'il y en a (attendus : avec fil, sans fil, positions de l'ampoule sur la pile différente...).

Discussion collective sur les hypothèses.

Conclusion collective

Synthèse écrite

Schéma

- Sans fil (dessin)

- Avec fils (avec Mallette)

1-dessiner le circuit fermé avec intérieur de l'ampoule et pile ; passer en rouge le circuit fermé.

2-Introduire les symboles conventionnels pour réaliser un schéma du montage.

Schéma collectif, synthèse écrite

Comment allumer une ampoule avec une pile plate ?

Sans fil :

Nous avons observé que le plot de la lampe doit toucher un pôle de la pile et que le culot de la lampe doit toucher l'autre pôle de la pile.

Avec fil :

A l'aide des fils électriques, on réalise un circuit fermé entre la pile et l'ampoule.

-Collage dessin avec circuit en rouge

-Dessiner le schéma du circuit.



2

SÉQUENCE 2 L'ÉLECTRICITÉ & MOI



BIBLIOGRAPHIE

LIVRES DOCUMENTAIRES

L'Électricité

Philippe Nessmann - Peter Allen Mango jeunesse 2018

La fabuleuse aventure de l'électricité : Petites et grandes découvertes de la foudre à l'ordinateur

Circuits Électriques - L'électricité

Francesconi Michel - Éditions Ricochet

Personne n'a «inventé» l'électricité, ni découvert de gisements électriques, comme avec le pétrole, l'or ou le charbon. Mais d'où nous vient l'électricité ? Et comment mieux la fabriquer et moins la consommer !

L'électricité et le magnétisme

Maria Gordon, Mike Gordon - Éditeur Albin Michel

L'électricité, une énergie à maîtriser : Quinze expériences faciles à réaliser permettent de découvrir d'où vient cette énergie.

FICTION

Climat électrique au zoo!

Luan Iban, Grégory Mabire, 2008 Belin.

Un sympathique pirate rivalise d'ingéniosité pour sauver les animaux d'un zoo en panne d'électricité. Tous sont mis à contribution, au grand bonheur du lecteur, qui voit concrètement les animaux générer leur propre énergie (éolienne, biomasse, solaire, etc.). Dans cet ouvrage, les concepts scientifiques liés à la production d'énergie étant intégrés au sein de la trame narrative, le lecteur en découvre les rouages au fil de l'histoire. Aussi, comme le narrateur expose des actions et leurs utilités (installer des éoliennes avec des bananiers et placer des câbles pour conduire l'air climatisé aux ours polaires, par exemple), le lecteur peut

RESSOURCES EN LIGNE

Les énergivOres : Web-série d'éducation à la maîtrise de l'énergie

<https://www.energivores.tv/>

Kits pédagogiques multimédia EDF : De l'énergie à l'électricité et Développement durable

<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/jeunes-enseignants/enseignants/kits-pedagogiques>

C'est pas sorcier : Quand les branchés disjonctent

<https://www.youtube.com/watch?v=py88xUzawiw>

C'est pas sorcier : La planète carbure au Vert

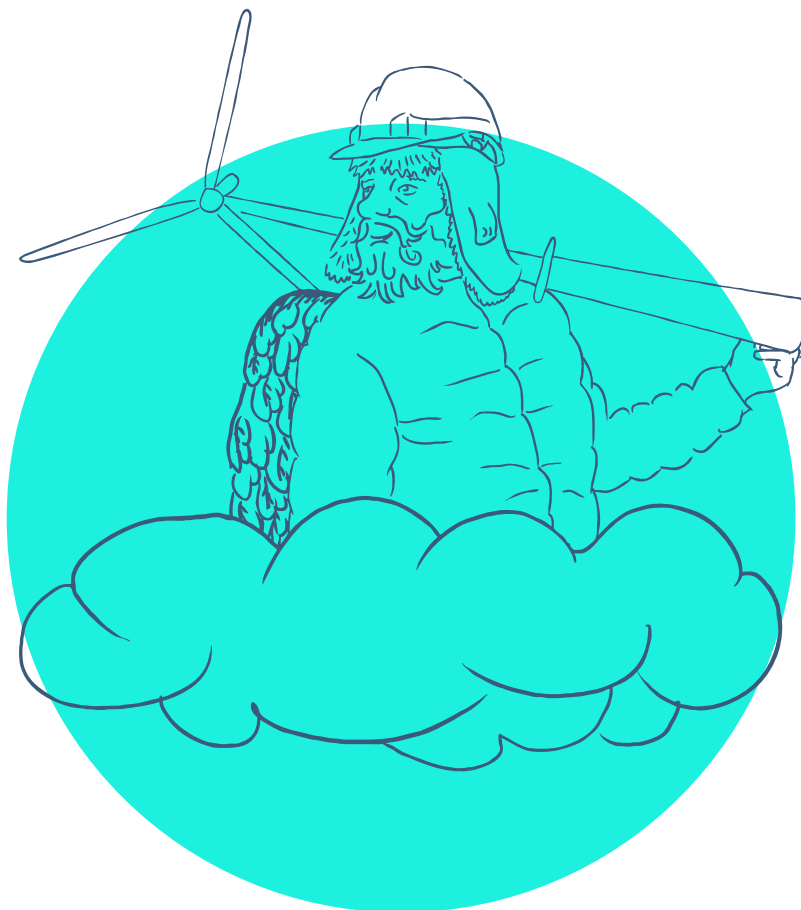
<https://www.youtube.com/watch?v=kCYyrkBjdv4>

RTE Eco2Mix : voir la consommation et la production électrique en temps réel

<https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere>

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



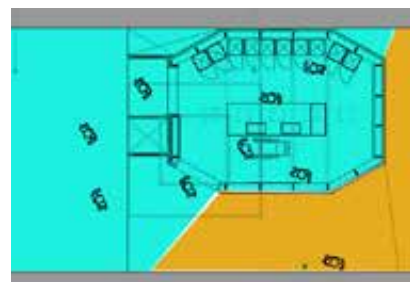
3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Cette troisième séquence se compose de quatre espaces :

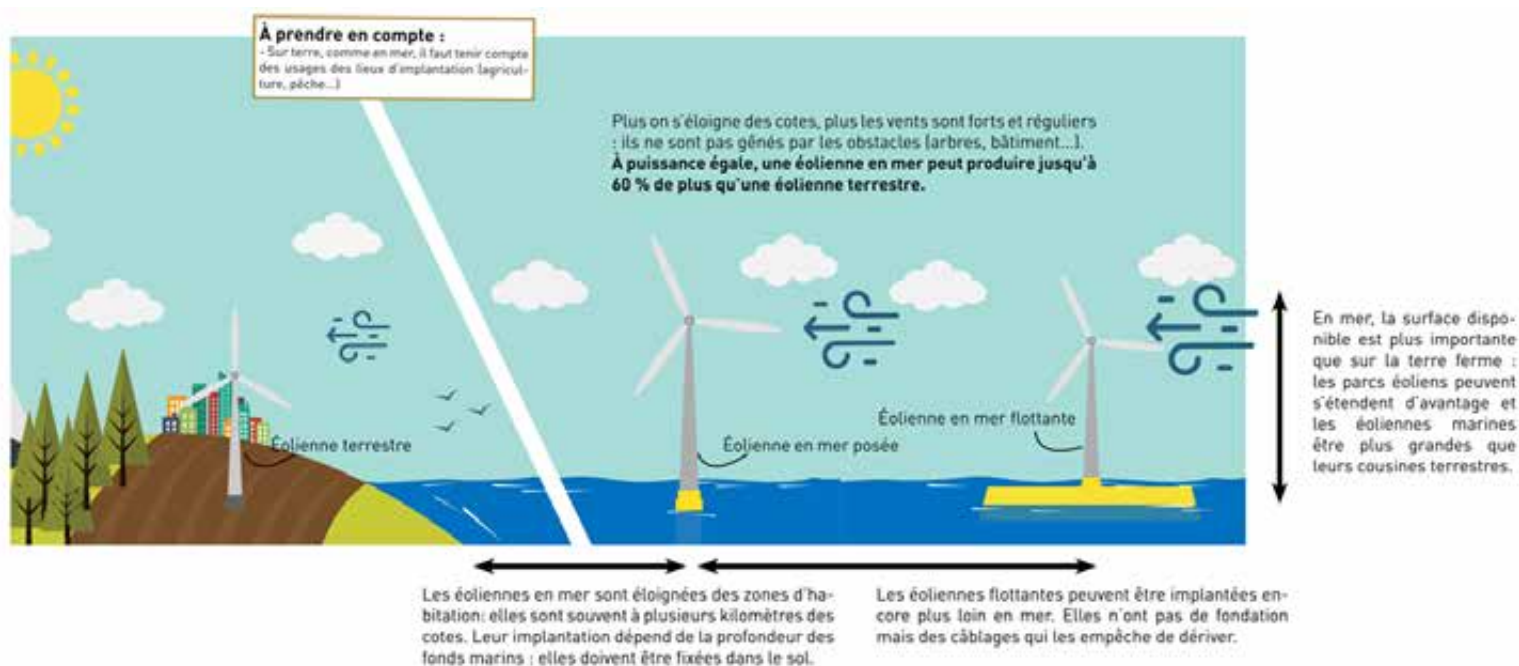
- Un espace partagé présentant les aspects techniques d'un parc éolien en mer (implantations, composants, chantier...)
- sur le même espace, une présentation de témoignages métiers d'acteurs du quotidien participant au développement de ces projets
- un espace de projection immersive pour découvrir le parc éolien en mer de Saint-Nazaire
- en sortie de l'espace, un mobilier dédié à l'impact environnemental d'un parc éolien en mer.



Enjeux :

- Découvrir les éléments d'un parc éolien en mer
- Aborder l'exemple concret du parc de Saint-Nazaire
- Comprendre les différentes étapes de son développement
- Découvrir les métiers liés à l'éolien
- s'interroger sur les impacts environnementaux d'un parc éolien.

Questions pour débiter : pourquoi construire un parc éolien en mer ?



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Questions pour débiter : éolien flottant ou éolien posé ?

Plusieurs technologies existent dans la mise en œuvre d'un parc éolien en mer. A Saint-Nazaire, le choix a été fait de mettre en place un parc éolien «posé» : les éoliennes, et les différents éléments qui composent le parc sont fixés dans les sols marins.

Une autre technologie est en cours de développement : l'éolien flottant. Les éoliennes flottantes peuvent être installées dans des eaux profondes. Alors que l'éolien posé supporte jusqu'à 50 m de fond, l'éolien flottant permet d'atteindre des profondeurs jusqu'à 300 mètres. Hormis en mer du Nord et en mer Baltique, on dépasse rapidement 50 m de fond en Europe, que ce soit en Atlantique ou encore davantage en Méditerranée. Comme les éoliennes flottantes peuvent donc être installées plus loin des côtes, elles profitent de vents plus forts et plus réguliers : le potentiel de l'éolien flottant est ainsi très important : il est estimé à 122 GW en France.



Dossier de presse Floatgen, schéma de principe, 2017.
DR IDEOL - Floatgen

Focus : Floatgen, première éolienne flottante de France.

Floatgen, première éolienne flottante de France a été construite à Saint-Nazaire. Cette éolienne est un prototype technique de haute-technologie. Testée en mer pendant au moins 6 ans, la technologie sera utilisée pour équiper de futurs parcs éoliens flottants.

Carte d'identité :

Nom : Floatgen

Type : éolienne en mer sur fondation flottante

Date de construction : 2016-2017 à Saint-Nazaire

Fondation : flotteur en béton léger avec ouverture centrale en anneau

Puissance de l'éolienne : 2MW

Site d'installation : Site d'essai du SEM-Rev, 22 kilomètres au large du Croisic, 33 mètres de profondeur d'eau.

Ancrage : 6 lignes en fibre synthétique



Éolienne flottante Floatgen en cours de montage dans le bassin de Saint-Nazaire
DR Ideol BYTP ECN Myphotoagency



Éolienne flottante Floatgen installée au large du Croisic
DR Ideol BYTP ECN Myphotoagency

3

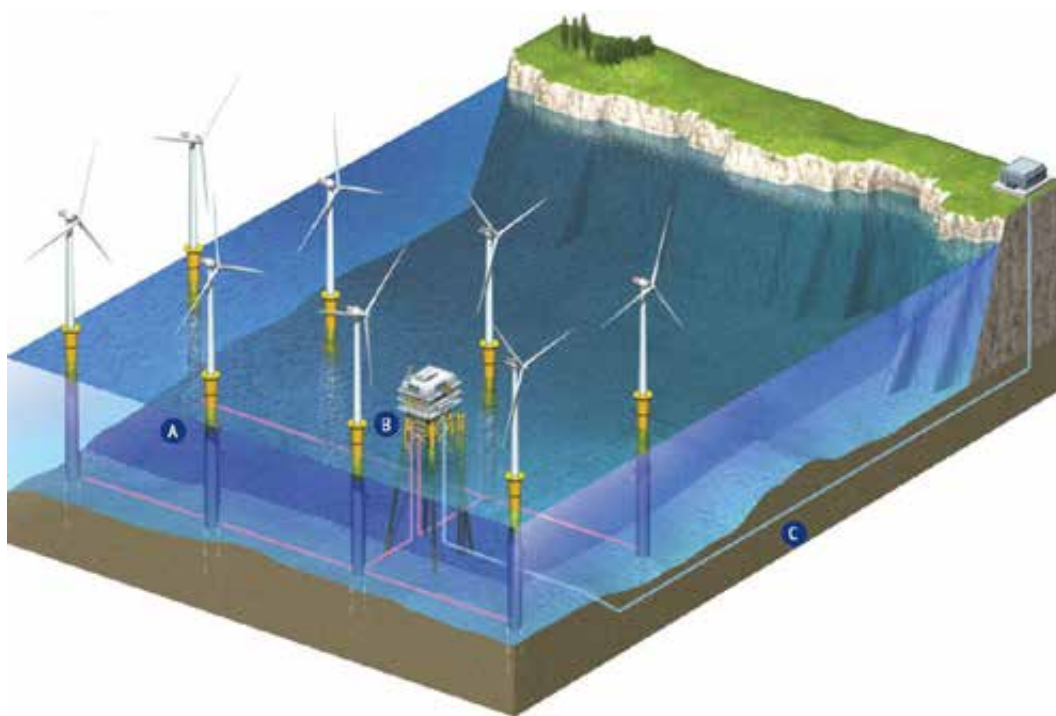
SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Un parc éolien, c'est quoi ?

Une centrale éolienne, parc éolien, ou ferme éolienne, est un site regroupant plusieurs éoliennes produisant de l'électricité.

Il peut être sur terre ou en mer, au large des côtes : on parle d'éolien offshore, ou en mer. Aujourd'hui, la majorité des parcs éoliens sont sur terre mais les premiers parcs en mer se développent et s'installent ! Ils présentent de nombreuses similitudes avec leurs cousins terrestres, et un certain nombre d'avantage. Que trouve-t-on dans un parc éolien ?



A – L'éolienne transforme l'énergie du vent en électricité

B – Les éoliennes sont reliées par des câbles enterrés à un poste électrique en mer

C – Le poste électrique en mer est relié au réseau électrique par une liaison sous-marine puis souterraine



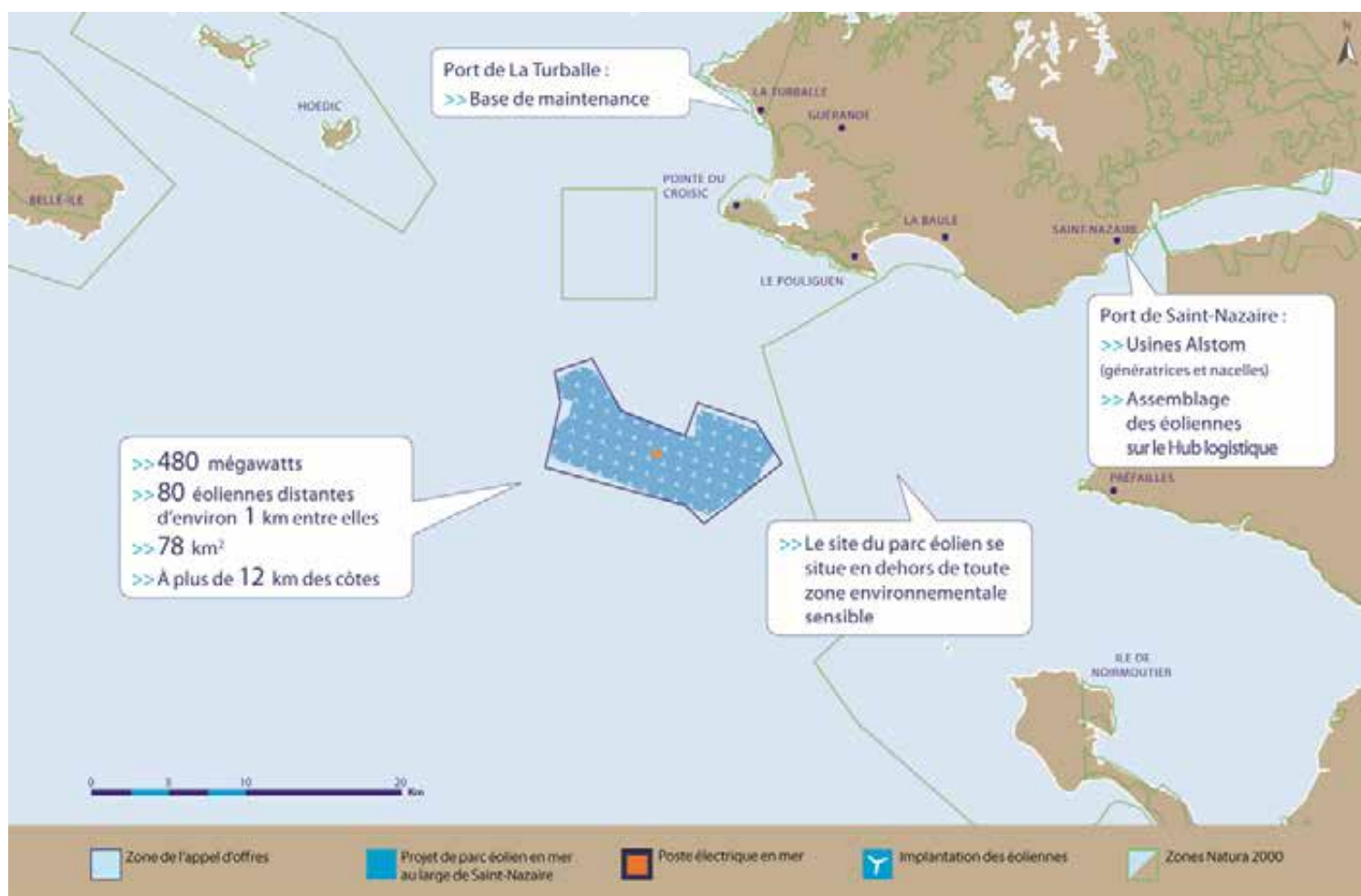
Plus grand parc éolien en mer du monde en 2022 : Hornsea 2, situé en mer du nord, au large des côtes anglaises.

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Le parc éolien en mer de Saint-Nazaire



480 MW installés = 1735 GW de production par an = consommation électrique moyenne de 700 000 personnes, environ 20% du département de Loire-Atlantique.

Premier parc éolien en mer de France.

Premier parc éolien en mer en Atlantique.



Le parc éolien en mer de Saint-Nazaire, vue depuis les airs.
juillet 2022
(c) SPBG



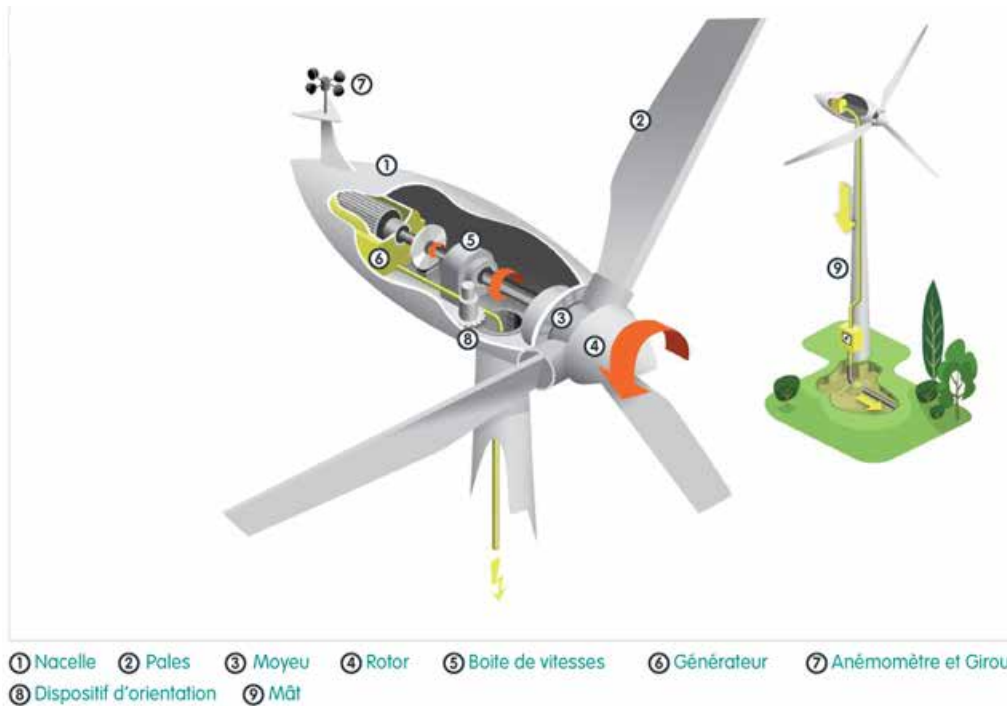
Le parc éolien en mer de Saint-Nazaire, vue depuis la mer.
Septembre 2022
(c) SPBG

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Une éolienne : comment ça marche ?



Le vent souffle dans les trois pales de l'éolienne.
Ces dernières s'orientent face au vent grâce à la girouette et tournent sur elle-même pour capter le maximum de vent.
A l'intérieur, comme une dynamo de vélo, un générateur produit de l'électricité.

Éolienne Haliade 150
à Block Island (USA)
(c) GE



Éolienne d'essai installée au Carnet (44)
(c) GE



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



L'haliade 150 : l'éolienne installée à Saint-Nazaire

L'Haliade 150 est une éolienne de 6MW produite par General Electric (anciennement Alstom).

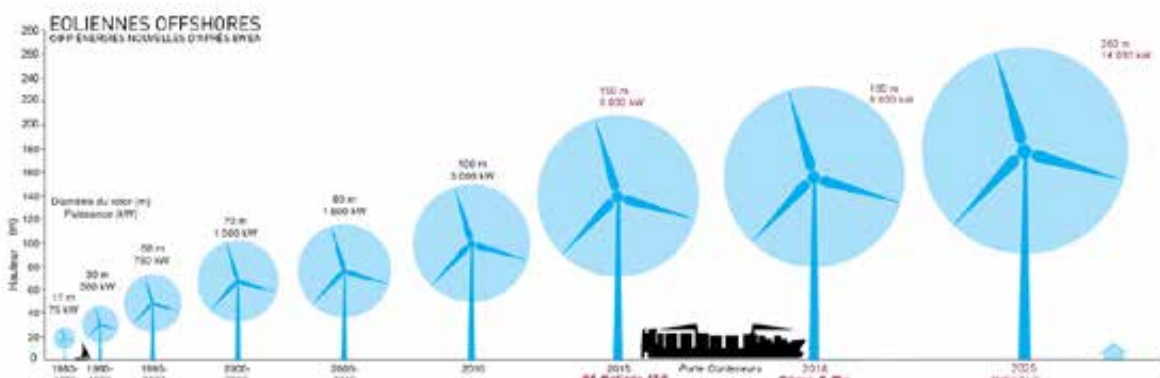
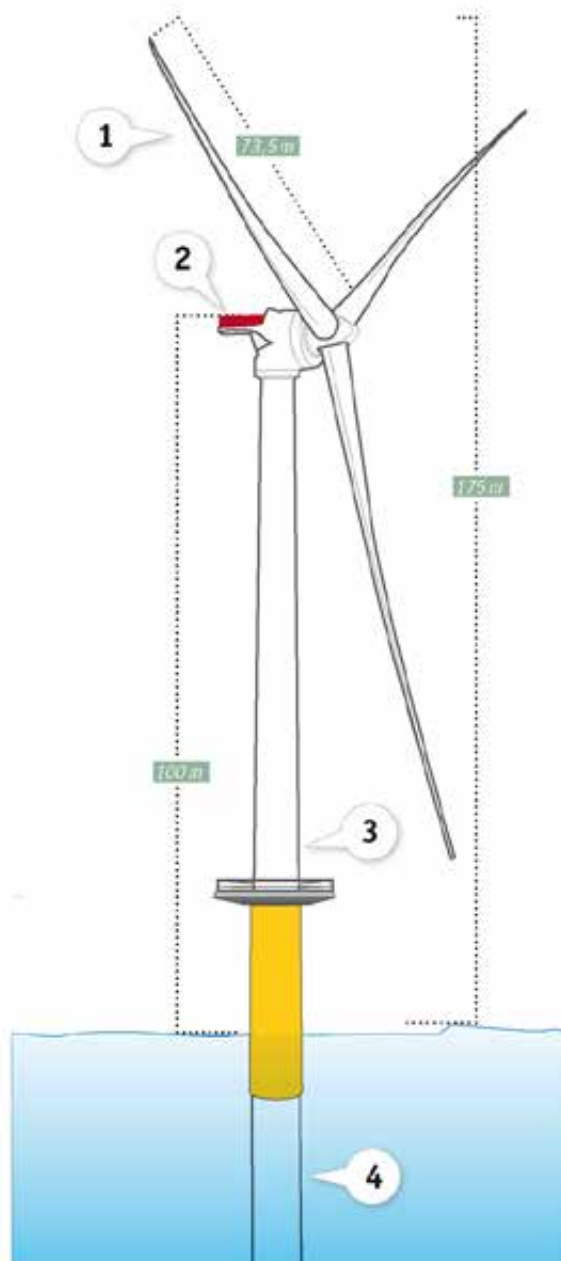
Aujourd'hui, les modèles en développement vont jusqu'à 16 MW et 230 mètres de hauteur.

La taille et la puissance des éoliennes ne cesse d'augmenter.

Fiche technique de l'éolienne Haliade :

- Puissance : 6 MW
- Fonctionne avec des vents compris entre 10km/h et 90 km/h, soit 90% du temps

- 1 La pale
Sa forme profilée lui permet de capter un maximum de vent.
- 2 La nacelle
La nacelle contient la génératrice, c'est ici que l'électricité est produite.
- 3 Le mât
Il supporte la nacelle et les pales. Il abrite également des éléments électriques.
- 4 La fondation monopieu
Il s'agit d'un pieu en acier de grand diamètre enfoncé à plusieurs dizaines de mètres dans le sous-sol marin, assurant ainsi la stabilité des équipements.



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Un parc très local

Le parc de Saint-Nazaire a une particularité unique en France : il est fabriqué à près de 50% en local ! Pourquoi ?

Usine General Electric de Montoir-de-Bretagne

150 à 400 ETP (en fonction de la charge de travail).
Assemblage des éoliennes Haliade 150 utilisées pour le parc éolien en mer de Saint-Nazaire. Assemblage des éoliennes nouvelle génération Haliade X de 14 MW.
Capacité de production : jusqu'à 100 nacelles par an ! Les électromécaniciens représentent 60 % des effectifs.



Anemos (Chantiers de l'Atlantique)

Au cœur des Chantiers de l'Atlantique, l'usine Anemos fabrique une pièce maîtresse des parcs éoliens en mer: la sous-station électrique. Transformateur électrique et poste de pilotage des parcs en mer, la sous-station du parc éolien de Saint-Nazaire et sa fondation pèsent environ 6000 tonnes. En vitesse de croisière, Anemos emploie environ 300 personnes et peut produire jusqu'à 2 sous-stations par an.



Jacket de sous-station en cours de soudure aux Chantiers de l'Atlantique



Assemblage d'une éolienne Haliade 150 dans l'usine GE de Montoir-de-Bretagne

4

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



La sous-station électrique

Le parc éolien est équipé d'un poste électrique en mer qui sert au raccordement du parc au réseau public de transport d'électricité. Le poste électrique assure l'élévation de la tension électrique, la protection du parc vis-à-vis du réseau terrestre, le comptage de l'énergie produite et le contrôle et la supervision du parc.

La fondation de la sous-station est de type Jacket et fixée par 4 à 8 pieux de 1,5 à 3m de diamètre implantés dans le sol à une profondeur de 20 à 50m. La sous-station a été fabriquée aux chantiers de l'Atlantique de Saint-Nazaire en 2020 avant son installation en mer en août 2021.

Principal usage : la transformation de la tension. À l'intérieur, les équipements convertissent la tension de 33 000 volts des éoliennes en 225 000 volts. La raison ? Plus la tension est élevée, plus le transport de l'électricité est sécurisé : les pertes électriques dues à la distance sont moins importantes.



Jacket de sous-station en attente d'installation



Sous-station électrique en cours d'assemblage aux Chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire.
(c) Chantiers de l'Atlantique - Bertrand Bigier



Installation de la sous-station sur le parc en mer en août 2021.
(c) Agence CAPA - EDF-Renouvelables

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Les métiers de l'éolien en mer

Au-delà de l'aspect technique d'un parc éolien, il y a de nombreuses femmes et hommes et qui élaborent ces projets. Qui sont les gens qui travaillent au quotidien dans un parc, à toutes les phases de son fonctionnement et de son élaboration ?

Chaque spécialiste se présente dans un court témoignage vidéo. Ainsi que son rôle au sein d'un parc éolien, et un focus sur sa formation.

CONCEVOIR ET PRÉVOIR

1) Anne-Claire Boux

Chargée de projet

Études : ingénieure spécialisée énergies renouvelables

2) Gaétan Morin

Chef de projet environnement

Études : géographie et aménagement du littoral

3) Florian Lescop

Expert environnement

Études : gestion et protection de la biodiversité

PRODUCTION DES ÉOLIENNES

4) Asma Batita

Responsable contrôle qualité

Études : gestion de la production industrielle

5) Kevin Gréau

Électricien

Études : maintenance industrielle

6) Céline Bailleaux

Electromécanicienne

Études : esthéticienne puis métiers de l'électricité

7) Valentine Fraslin

Inspectrice qualité

Études : gestion de production industrielle

8) Allison Philippot

Cheffe d'équipe production

Études : vétérinaire et reconversion dans l'aéronautique

9) Matthieu Fresne

Opérateur de production

Études : système de production



Kevin Gréau
usine GE, production
GE Factory, production

«Je m'appelle Kévin Gréau, je suis référent électricien chez GE. Je gère les équipes électrique de montage d'armoire pour les éoliennes. Le montage de A à Z de l'armoire dont le câblage puis l'installation en machine puis le routage des câbles et les connexions qui sont faites dans la machine.

J'ai une formation de maintenance industrielle, j'ai fait sur Saint-Nazaire. Après j'ai évolué au gré de mes compétences auprès de toutes les entreprises du bassin nazairien.

Ce que j'aime dans l'électricité, c'est que c'est un métier très varié qui peut aller des avions aux bateaux à l'éolien, c'est partout. J'ai mis deux ans pour venir travailler ici, le temps que l'usine se fasse. Ce que je trouve chouette, c'est que c'est un produit nouveau, il y a tout à mettre en place. J'ai l'impression de faire partie d'un projet qui est neuf.»

Témoignage de Kévin Gréau
Electricien chez GE à Montoir-de-Bretagne

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Les métiers de l'éolien en mer

Au-delà de l'aspect technique d'un parc éolien, il y a de nombreuses femmes et hommes et qui élaborent ces projets. Qui sont les gens qui travaillent au quotidien dans un parc, à toutes les phases de son fonctionnement et de son élaboration ?

Chaque spécialiste se présente dans un court témoignage vidéo. Ainsi que son rôle au sein d'un parc éolien, et un focus sur sa formation.

PRODUCTION DES SOUS-STATIONS

10) Isabelle Ramette

Ingénieure chargée d'affaires

Études : ingénierie de l'énergie électrique

11) Cyrille Legal

Charpentier soudeur

Études : serrurerie-métallerie

MÉTIERS PORTUAIRES, MAINTENANCE ET SÉCURITÉ EN MER

12) Johann Feltgen

Logisticien portuaire

Études : transport et prestations logistiques

13) Jacques Tourneux

Responsable maintenance

Études : maintenance en éolien offshore

14) Didier Moreau

Responsable formation sauveteurs en mer

Études : formation SNSM



«Je m'appelle Jacques Tourneux , je suis technicien en maintenance éolienne. Je sors d'une licence professionnelle faite à Saint-Nazaire. Mon métier consiste à entretenir l'éolienne et faire en sorte qu'elle ne s'arrête pas pour garder un niveau de disponibilité le plus haut possible. Mes tâches au quotidien sont de maintenir mécaniquement, électriquement, hydrauliquement cette éolienne. De la réparer et de l'entretenir. Ce qu'on appelle la maintenance préventive et la maintenance curative. Ce qui me plaît dans ce métier, c'est la diversité des tâches. Toucher à la mécanique, l'électricité, l'hydraulique et aux logiciels. Et travailler en extérieur et encore mieux : en mer. »

Témoignage de Jacques Tourneux
Maintenance éolienne chez GE au Carnet (44)

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



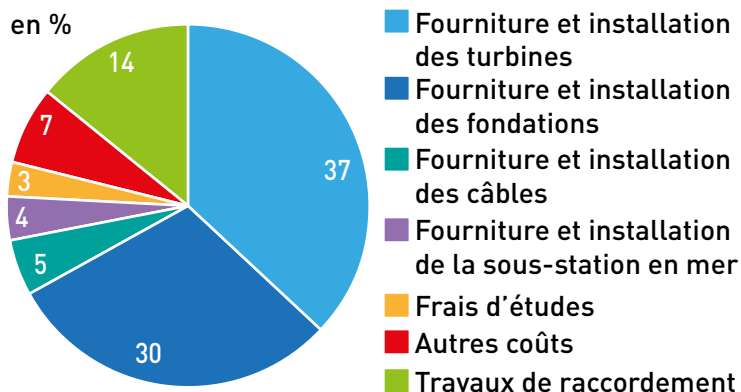
Enjeux financiers

Combien coute le parc éolien en mer de Saint-Nazaire ?

C'est un projet à 2 milliards d'euros d'investissement. L'investissement a été confié suite à un appel d'offre à un consortium qui regroupe EDF-Renouvelables (filiale indépendante d'EDF) et l'entreprise canadienne Enbridge, spécialisée dans le pétrole offshore.

En contrepartie de cet investissement, l'État français s'est engagé à acheter l'électricité produite par le parc au cout de 150 € le MWh jusqu'à la fin de la concession.

Répartition des coûts de développement et de construction du projet de parc éolien au large de Saint-Nazaire



Source : EDF-Renouvelables, dossier du maître d'ouvrage, 2011.

Pour combien de temps ?

La concession d'exploitation est prévue pour 25 années. Passé ce délai, les éléments du parc sont démontés et le site remis en état initial. Pourquoi ce délai ? Parce qu'on considère que les coûts de maintenance et de remplacement des pièces qui composent le parc seront alors plus importants que la mise en place d'un nouveau projet complet.

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



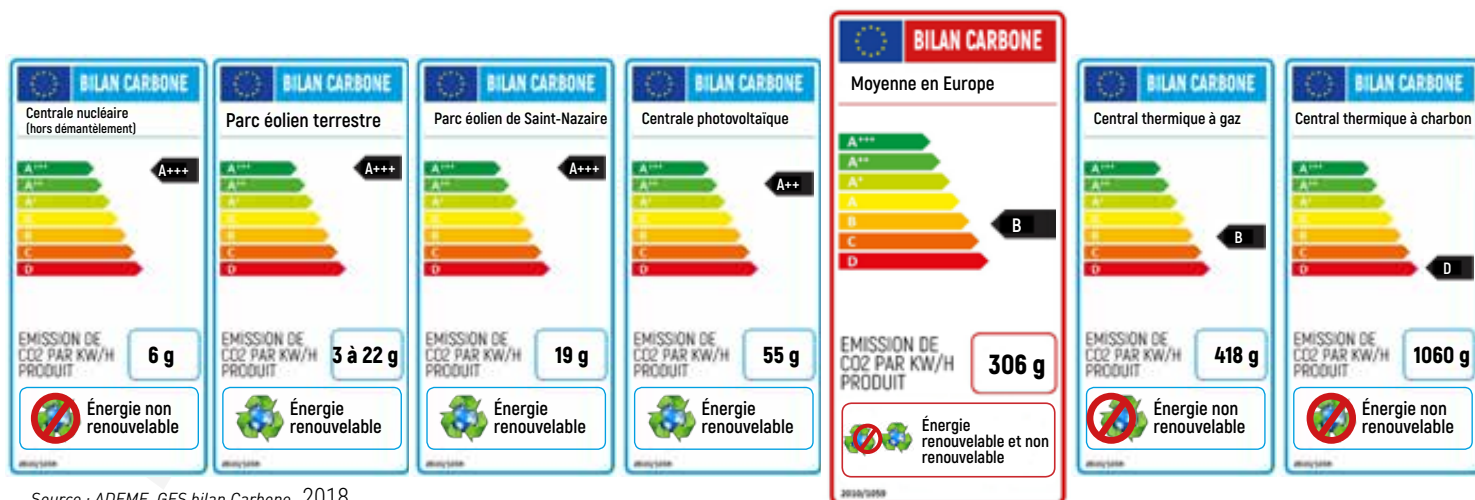
Enjeux environnementaux

L'émission de CO2 par type de production. Le bilan carbone du parc éolien de Saint-Nazaire.

Sur des projets moderne, on calcule systématiquement le bilan carbone :

- il s'agit de prendre en compte toutes les émissions du projet durant l'ensemble de son cycle de vie, de la conception au démantèlement.
- les émissions de tous les gaz contribuant au réchauffement climatique sont comptabilisées et « converties » en équivalent gaz carbonique.

Pour les projets les plus anciens (centrales nucléaires, centrales thermiques au charbon), on estime les bilans carbones à partir des données disponibles et des comparaisons internationales*.



Source : ADEME, GES bilan Carbone 2018

Le parc éolien de Saint-Nazaire, avec un bilan carbone estimé à 19g par KWh se place parmi les sources de production électrique les plus vertueuses. Et largement en dessous des moyennes européennes du secteur.

* Des incertitudes demeurent quant à certains calculs et résultats. Le bilan carbone est souvent complexe à mettre en œuvre sur des projets énergétiques anciens et insuffisamment documentés. C'est particulièrement vrai en ce qui concerne la filière nucléaire dont le bilan carbone, proposé par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), est soumis à controverse, notamment sur le démantèlement des unités de production.

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Parc éolien et enjeux écologiques

Avant l'installation : choisir le site, étudier et préparer les travaux.

Le site du Banc de Guérande où est installé le parc a été choisi par l'Etat français en raison notamment des enjeux environnementaux limités a priori : le secteur n'est pas protégé particulièrement (Natura 2000...) et est à l'écart des axes de migrations principaux. Néanmoins, la pression sur les écosystèmes marins est constante et en augmentation depuis plusieurs décennies (réchauffement climatique, pêche, urbanisation des littoraux...).

Comment le projet de parc éolien intègre-t-il les enjeux environnementaux ?

Première étape : on réalise un état initial :

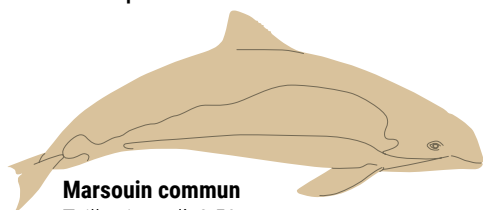
Le développement du projet a permis d'enrichir la connaissance du banc de Guérande : des plongées, des prélèvements de sédiments, des observations et des études naturalistes ont eu lieu depuis 2013.

Les fonds marins sont constitués de différents types d'habitats qui hébergent ou voient passer :

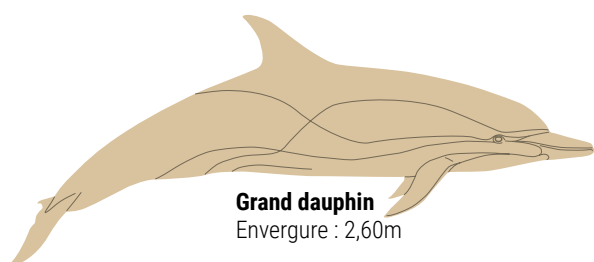
- près de 70 espèces de poissons et de crustacés,
- 3 espèces de mammifères marins,
- 46 espèces d'oiseaux.

Certaines espèces d'oiseaux fréquentent le site de manière ponctuelle ou saisonnière (migrateurs, hivernants), d'autres tout au long de l'année (espèces résidentes).

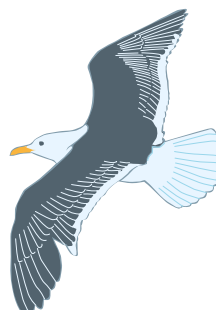
Parmi les espèces recensées :



Marsouin commun
Taille : jusqu'à 2,50m



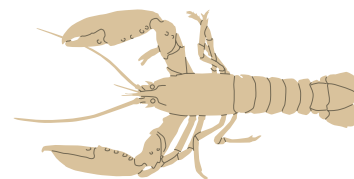
Grand dauphin
Envergure : 2,60m



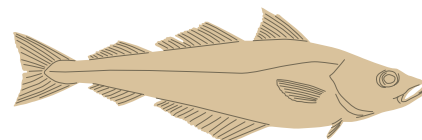
Goéland marin
Le plus grand des goélands
Envergure : 160 cm



Puffin des Baléares
Oiseau marin le plus menacé d'Europe
Envergure : 90 cm



Homard européen
Taille : 40cm



Lieu jaune
Taille : 120 cm

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Parc éolien et enjeux écologiques

Avant l'installation : choisir le site, étudier et préparer les travaux.

**Deuxième étape : on étudie l'impact du projet sur le milieu :
Quels effets a le parc éolien sur le milieu environnant ?**

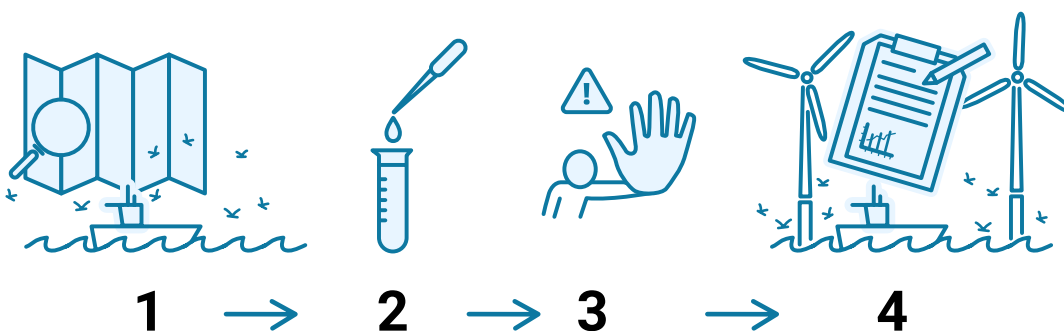
Par exemple, pendant la construction, les forages créent de la turbidité : l'eau est trouble pendant quelques heures aux environs du chantier. Cet effet turbide a un impact sur la faune et la flore qui affectionnent les eaux claires, mais dans le cas du banc de Guérande, les espèces sont accoutumées à des niveaux de turbidité élevés sous l'influence des eaux de l'estuaire de la Loire. L'effet turbide a ici un impact limité sur le milieu.

Troisième étape : on évite, réduit, compense les impacts.

Le parc éolien a été soumis à autorisation du gouvernement basée notamment sur la démarche : éviter, réduire, compenser . L'installation et l'exploitation du parc doivent éviter les atteintes à l'environnement, réduire celles que l'on ne peut éviter et, en dernier lieu, définir et mettre en œuvre des mesures pour compenser les effets notables qui demeurent. Pour le parc de Saint-Nazaire, 25 mesures d'évitement et de réduction ont été définies. Il n'y a pas eu lieu de mettre en place des mesures compensatoires.

Quatrième étape : un programme de suivi environnemental est élaboré avec les experts de l'environnement.

Les suivis sont mis en œuvre sur le terrain pendant toute la durée d'exploitation du parc éolien par des bureaux d'étude spécialisés et indépendants. Les experts (IFREMER, CEREMA, Office français de la biodiversité...) relisent les résultats pour les contrôler.



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Parc éolien et enjeux écologiques

Pendant le chantier, que se passe-t-il ?

Le site du banc de Guérande, lieu d'accueil du parc éolien en mer de Saint-Nazaire est constitué de hauts-fonds rocheux à 90%.

Les éoliennes vont-elles gêner les poissons ?

Les fondations monopieux sont installées dans les sols marins par battage et/ou forage. Le bruit des travaux peut faire s'éloigner les espèces marines du site. Cet éloignement est temporaire : à la fin des travaux, les espèces marines reviennent sur la zone pour la recoloniser : c'est l'effet récif.

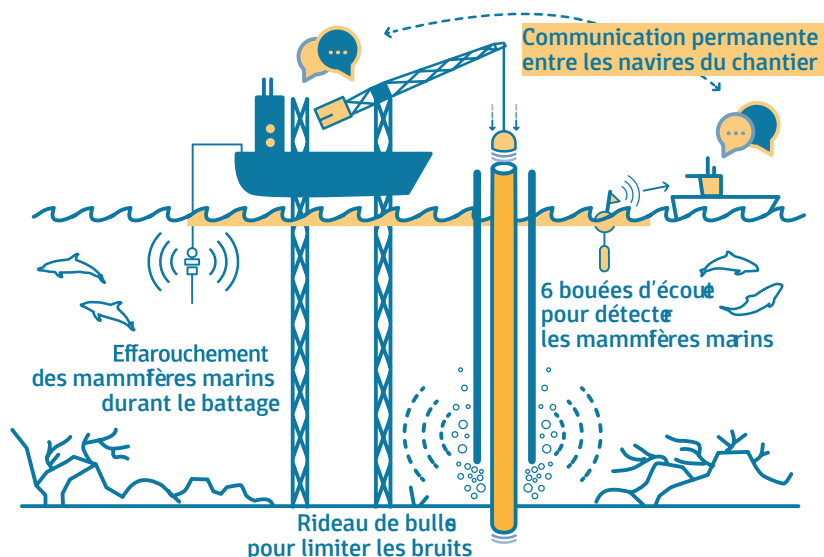
Et les mammifères marins ?

L'installation des fondations du parc crée du bruit qui gêne les mammifères marins. Aussi des mesures sont mises en place pour éviter et réduire l'impact. Avant le démarrage des travaux, des bruits qui dérangent les mammifères marins sont diffusés dans l'eau pour les éloigner. Puis, les travaux démarrent progressivement afin que les animaux se maintiennent à une distance suffisante du chantier de battage. Pendant toute la durée des opérations de battage, on s'assure qu'aucun mammifère marin n'est présent à proximité grâce à un réseau de bouées acoustiques.

Si la détection d'un mammifère marin est confirmée, les opérations sont arrêtées le temps que l'animal quitte la zone.

En exploitation, les mammifères marins nagent au sein du parc comme avant!

Battage d'une fondation : comment réduire les risques liés au bruit sous-marin



Homard sous une fondation mono-pieu



Fondation mono-pieu du parc de Horns Rev 1 (Danemark)



Moules sur une structure type «Jacket» en mer du Nord.

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



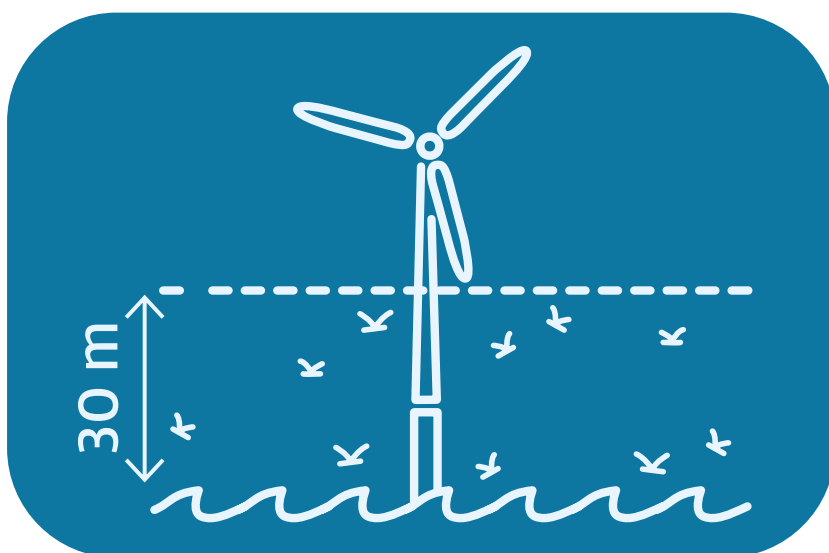
Parc éolien et enjeux écologiques

Et pour les oiseaux ?

Contrairement à certaines idées reçues, l'impact des éoliennes sur les oiseaux est loin d'être significatif. D'après une étude de l'ADEME réalisée en 2016, une éolienne terrestre provoque, en moyenne en Europe, la mort de 0.4 à 1.2 oiseaux par an. En comparaison, on estime que le trafic routier, la chasse ou encore les chats domestiques sont responsables de la mort de plusieurs dizaines de millions d'oiseaux tous les ans.

En mer, la majorité des oiseaux vole à une hauteur inférieure à 30 mètres au-dessus de l'eau : soit en-dessous de la zone balayée par les pales des éoliennes. La majorité des espèces a également la capacité de s'adapter à la présence d'un parc éolien.

Pour les espèces les plus sensibles (goéland brun et goéland marin dans le cas du parc éolien en mer de Saint-Nazaire), des actions de gestion et de conservation spécifiques sont mises en œuvre avec l'aide des experts locaux tels que l'association Bretagne Vivante.



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



Parc éolien et enjeux écologiques

Démantèlement et recyclage

Après 25 années d'exploitation, le parc éolien en mer de Saint-Nazaire sera démantelé. Comment ça se passe ?

Les deux ans de travaux seront similaires au chantier de construction, mais à rebours :

- Récupération des câbles inter-éoliens avec leur protection.
- Démontage des éoliennes et de l'ensemble de leurs composants.
- Démontage du poste électrique en mer et de sa fondation jacket.
- Sciage des fondations au niveau des fonds marins et enlèvement de la partie supérieure.

Tous ces composants sont rapportés à terre. En fonction de leur état, ils sont soit réutilisés, soit éliminés, soit recyclés.

Quels sont les éléments recyclés ?

- Les composants métalliques (acier des fondations, des mats, des nacelles, cuivre des câbles...) sont entièrement et systématiquement revalorisés dans des filières de recyclage bien établies.
- Les matériaux électriques et électroniques sont repris et réutilisés par les professionnels de la filière conformément à une directive européenne.
- Concernant les aimants, la filière de récupération et de recyclage est en progression pour améliorer la valorisation différenciée des composants.
- Les pales, composées de fibre de verre, de carbone et de résine sont actuellement broyées pour être utilisées dans des cimenteries. Elles font l'objet d'études pour trouver des solutions de recyclage à l'échelle industrielle. En parallèle, des constructeurs d'éoliennes ont commercialisé en 2021 les premières pales entièrement recyclables.

En 2022, on estime que 90% de la masse total des composants du parc éolien sera recyclée.



Ensoiement des fondations monopieux (Royaume-Uni)



3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



BIBLIOGRAPHIE

LIVRES DOCUMENTAIRES

Manifeste Negawatt

Association négaWatt - Thierry Salomon - Yves Marignac- Marc Jedliczka - Actes Sud 2015

En 2003, vingt-quatre ingénieurs engagés dans la recherche d'un avenir énergétique durable réalisaient le «scénario Négawatt», certainement la proposition la plus aboutie pour repenser la politique énergétique de la France. Cet ouvrage présente, dans une approche pédagogique et intelligible par tous, la toute dernière actualisation de ce scénario.

Les éoliennes en mer : Questions-réponses

Philippe Gouverneur - Le Cherche-midi, 2012

Un ouvrage qui aborde le sujet des éoliennes en mer en tâchant de répondre aux différentes interrogations que cela suscite .

Les énergies renouvelables pour la production d'électricité

Leon Freris - David Infield - Dunod, 2009

Les énergies renouvelables ne se produisent pas de la même manière que les énergies classiques. C'est pourquoi l'intégration de l'électricité fournie par les énergies renouvelables au réseau électrique exige une réflexion approfondie. En effet, elles dépendent d'éléments variables, tels que le vent, l'eau et le soleil, qui conditionnent la production. Cet ouvrage aborde de manière détaillée les aspects suivants : les caractéristiques des générateurs classiques et des générateurs intermittents ; l'équilibre du réseau entre l'offre et la demande ; les méthodes de conversion des énergies renouvelables en électricité ; les systèmes de puissance ; la privatisation de l'électricité et la création de nouveaux marchés, notamment l'électricité « verte » ; le développement des énergies renouvelables grâce aux progrès techniques.

Les éoliennes d'Hélène

Sébastien Chebret - Eyrolles jeunesse, 2012

Hélène a eu une superbe maison de poupée pour son anniversaire, grande et belle comme elle le souhaitait. Le soir, elle rêve de la voir éclairée. Son grand frère lui propose alors de lui installer une éolienne avec simplement quelques bricoles.

La grande imagerie des Énergies

Cathy Franco - Jacques Dayan - Fleurus 2008

Beaucoup d'informations claires et accessibles avec de nombreux dessins pour bien comprendre toutes les formes d'énergies.

FICTION

Fisie Ka et les énergies renouvelables

Blandine Pluchet - illustrations de Virginie Rochetti. Éd. le Pommier, 2006

Réunion d'urgence dans le village de Fisie : les habitants auront épuisé leurs ressources d'énergie (le gaz, le pétrole et le carbone) dans 9 mois. Tout le monde doit réfléchir à de nouvelles sources d'énergie. Fisie Ka visite les habitants du village un par un, et découvre leurs idées : les éoliennes, le compostage, l'énergie hydraulique...

3

SÉQUENCE 3 L'ÉOLIEN EN MER



BIBLIOGRAPHIE

RESSOURCES EN LIGNE

Le Réveilleur : l'Eolien

<https://www.youtube.com/watch?v=wXqIZxV6VHE>

Contenus jeunesse du Parc éolien en mer des Iles d'Yeu et de Noirmoutier

<https://iles-yeu-noirmoutier.eoliennes-mer.fr/espace-jeunesse/>

L'esprit sorcier, Eoliennes offshore, une source d'énergie dans le vent - Science en direct

https://www.youtube.com/watch?v=12y_veUk9d0

C'est pas sorcier : ÉNERGIES DE LA MER : des océans au courant !

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

4

SÉQUENCE 4 PAYSAGES



4

SÉQUENCE 4 PAYSAGES



La dernière séquence de visite est en accès libre toute l'année par tous les publics sur la terrasse panoramique. Quatre mobiliers « tables de lecture du paysage » sont installés (dont deux accessibles PMR sur le premier palier de la terrasse).

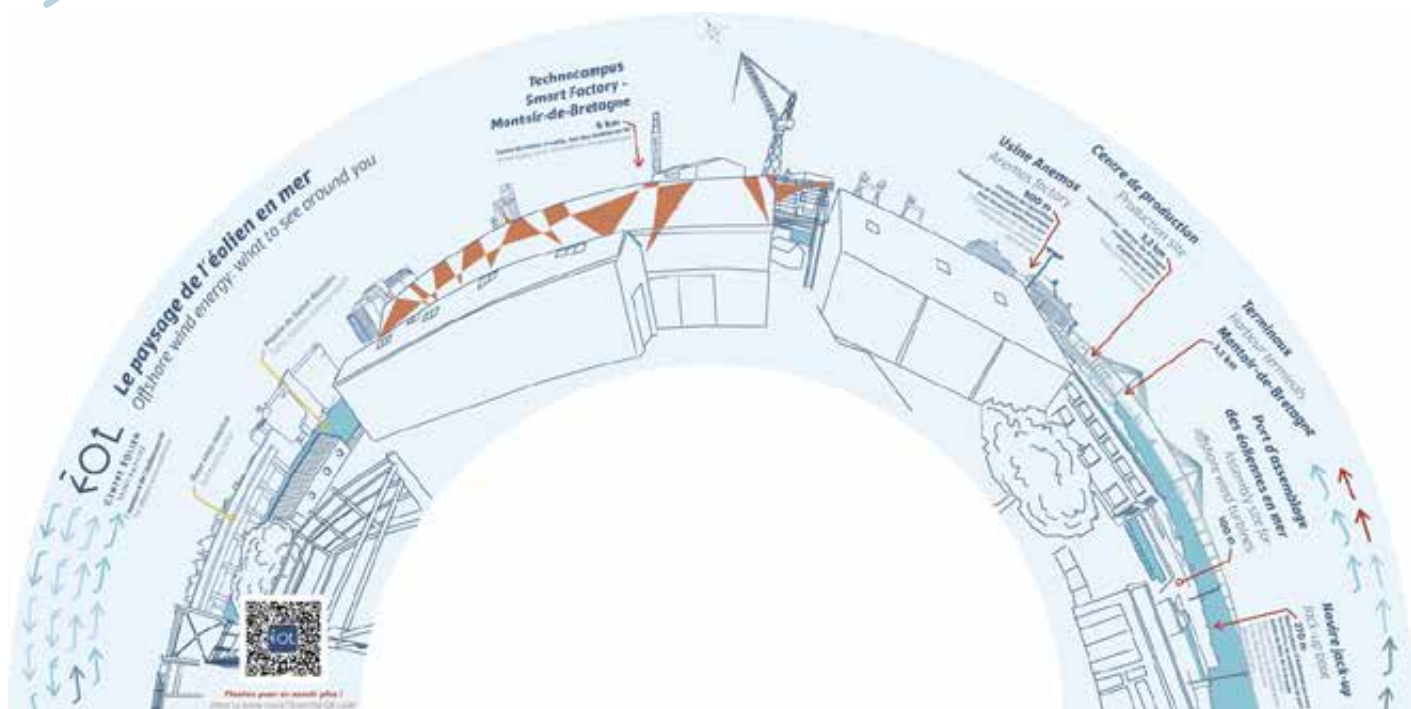
Ces mobiliers permettent de comprendre le paysage autour de nous, sur la thématique de l'éolien et des énergies marines renouvelables. Les sites emblématiques sont mis en avant : usines de production, centre de fabrication, de recherche... Sur chaque mobilier, un QR code à flasher avec son smartphone permet d'accéder à une application en réalité augmentée qui permet d'en savoir plus. Ces contenus sont évolutifs : ils changent au fur et à mesure de l'avancement des chantiers et des projets.



Enjeux :

- Comprendre le paysage industrialo-portuaire de l'estuaire
- Repérer les grands éléments qui structurent le paysage de Saint-Nazaire
- Découvrir les différents lieux liés à l'éolien en mer sur le territoire.

Les tables de lectures

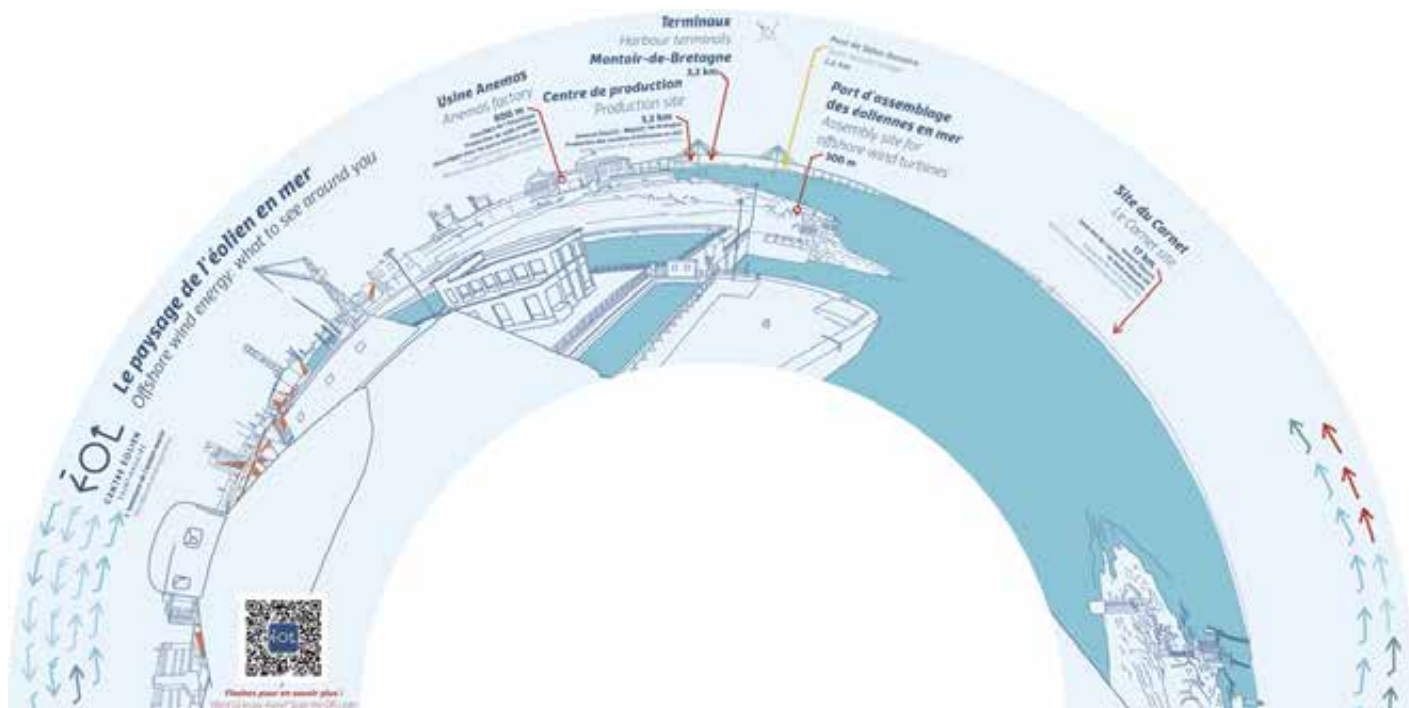


4

SÉQUENCE 4 PAYSAGES



Les tables de lectures



4

SÉQUENCE 4 PAYSAGES






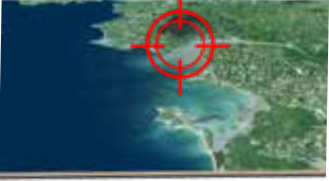


Les tables de lectures



4

SÉQUENCE 4
PAYSAGES

Les sites liés aux énergies marines renouvelables

Lieu	Description	Photographie	Localisation
Site d'essai du Carnet	Sur l'estuaire de la Loire, une éolienne General Electric Haliade 150 est installée en 2012. Après 3 années de tests, le prototype est finalisé et commercialisé. L'éolienne de 6 MW équipera le futur parc éolien en mer de Saint-Nazaire. L'éolienne d'essai a été démantelée en 2021.		
Navire Jack-Up Vole-au-Vent	Pendant le chantier de parc éolien entre 2021 et 2022, le navire auto-élévateur (ou Jack-up) «Vole-au-Vent» a chargé les éoliennes (mâts, nacelles et pâles) dans la forme-écluse Joubert. Ce navire hors-norme (longueur : 150 m, largeur : 45 m), possède un système de «jambes» qui descendent dans l'eau jusqu'à 30 mètres de profondeur et le soulèvent de plusieurs dizaines de mètres au-dessus des flots. Cela permet à sa grue de 1200 tonnes d'éviter les mouvements de la houle et d'installer les éoliennes en mer.		
Usine Anemos	Au cœur des Chantiers de l'Atlantique, l'usine Anemos fabrique une pièce maîtresse des parcs éoliens en mer : la sous-station électrique. Transformateur électrique et poste de pilotage des parcs en mer, la sous-station du parc éolien de Saint-Nazaire et sa fondation pèsent dans les 6000 tonnes. En vitesse de croisière, Anemos emploie environ 300 personnes et peut produire jusqu'à 2 sous-stations par an.		




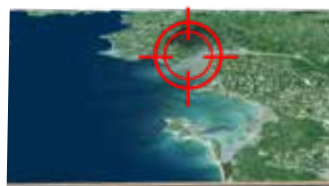
4

SÉQUENCE 4

PAYSAGES




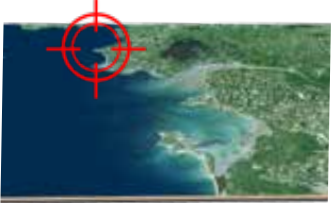




Les sites liés aux énergies marines renouvelables

Lieu	Description	Photographie	Localisation
Centre de production General Electric	Dans ce «temple de la turbine», jusqu'à 400 employés assemblent les générateurs et la nacelle pour créer la pièce principale de l'éolienne Haliade 150 qui sera fixée en haut d'un mât. Capacité de production : jusqu'à 100 nacelles par an ! Les électromécaniciens représentent 60 % des effectifs. Les nacelles de 400 tonnes embarquent depuis des quais spécialement renforcés vers le port d'assemblage. Aujourd'hui, l'usine produit les nouveaux modèles d'éolienne : les Haliade X de 14 mégawatts.		
Terminaux Montoir-de-Bretagne	La capacité des terminaux et le support logistique de Nantes Saint-Nazaire Port jouent un rôle essentiel dans la filière des éoliennes en mer. Les différents éléments des éoliennes débarquent sur les quais à marchandises du terminal de Montoir-de-Bretagne. Après leur assemblage, les nacelles d'éoliennes sont expédiées par bateau vers leur chantier de destination : USA, Belgique, Allemagne... Ces colis XXL ont nécessité d'importants travaux de consolidation des quais.		

4

SÉQUENCE 4
PAYSAGES







Les sites liés aux énergies marines renouvelables

Lieu	Description	Photographie	Localisation
SEM-Rev Le Croisic	Centre scientifique de haut niveau en génie océanique, filiale de l'école centrale de Nantes, le SEM-Rev abrite un site d'essai en mer unique en France. Le laboratoire permet aux entreprises de tester leur prototype en condition réelle : énergie éolienne en mer, énergie des vagues... les énergies marines renouvelables du futur sont mises au point au large du Croisic. Comme la première éolienne flottante de France, Floatgen, installée sur le site d'essai en 2018.		
Base de maintenance de la Turballe	Le Port de La Turballe accueille la base de maintenance pour le parc éolien de Saint-Nazaire. La base, inaugurée en 2021, abrite les locaux (bureaux, stockage...) et 3 bateaux spéciaux. La maintenance préventive nécessite une intervention annuelle de quelques jours sur chaque éolienne, ce qui constitue une activité quasi-continue tout au long de l'année, mobilisant une centaine de personnes.		
Parc éolien en mer des îles d'Yeu et de Noirmoutier	62 éoliennes de 8 MW situées à plus de 12 kilomètres des côtes vendéennes. Puissance totale : 496 MW soit l'alimentation électrique d'environ 780 000 personnes. Mise en service prévue pour 2025.		

4

SÉQUENCE 4
PAYSAGES

Les sites liés aux énergies marines renouvelables

Lieu	Description	Photographie	Localisation
Parc éolien du banc de Guérande	80 éoliennes Haliade 150 de 6 MW situées à plus de 12 kilomètres des côtes. Puissance totale : 480 MW soit l'alimentation électrique d'environ 720 000 personnes. Mise en service en 2022.		
Technocampus Smart factory	À l'intérieur de ce centre unique en France, situé à Montoir-de-Bretagne, les entreprises peuvent tester leur prototype sans construire une seule pièce. Comment ? Grâce à la technologie de la réalité virtuelle, qui permet d'expérimenter en 3D l'ensemble du fonctionnement de modèles industriels : avions, navires... mais également éoliennes en mer peuvent être expérimentés dans le «CAVE» qui permet une immersion ultra réaliste au cœur même des prototypes.		
Port d'assemblage des éoliennes en mer	Sur ce site ont été stockées les nacelles des éoliennes, venue de Montoir-de-Bretagne, les pâles et les mâts en provenance d'Espagne. Mâts de presque 100 mètres de haut stockés à la vertical, pâles de 73 mètres, nacelles de 400 tonnes... tout est XXL dans un chantier éolien en mer ! Ces éléments ont été chargés entre septembre 2021 et août 2022 sur un navire Jack-up à destination du site du Parc éolien du Banc de Guérande, à 17 kilomètres au large.		



REMERCIEMENTS

DOSSIER ENSEIGNANT



Saint-Nazaire Agglomération Tourisme remercie les personnes suivantes pour leur implication dans la création et la valorisation du travail pédagogique effectué sur EOL-Centre éolien de Saint-Nazaire.

ÉDUCATION NATIONALE

MATHIEU BROISSAND

CONSEILLER PÉDAGOGIQUE DÉPARTEMENTAL EPS

PHILIPPE THULLIER

CONSEILLER PÉDAGOGIQUE DÉPARTEMENTAL EN SCIENCES ET TECHNOLOGIE

LOIRE ATLANTIQUE DÉVELOPPEMENT

FLORENCE BODIN

SAINT-NAZAIRE AGGLOMÉRATION TOURISME

VÉRONIQUE MARTINEAU

LÉO BLANDIN

GWENDOLINE BALDASSARE

TIPHAINE YVON

EDF-RENOUVELABLES

CÉLINE BEAUDON

NATHALIE TERTRE

ÉOLIENNES EN MER - ILES D'YEU ET DE NOIRMOUTIERS

CHRISTELLE CELESTE

MATTHIEU CARRETTE

KASCEN (SCÉNOGRAPHIE ET ILLUSTRATIONS)

YVES AMAND

FANNY VILLEZ

LAURENT SICK



CENTRE ÉOLIEN
SAINT-NAZAIRE

saint-nazaire
agglomération
TOURISME®