

# ETUDE ET MODÉLISATION D'UNE ÉOLIENNE EN FONCTIONNEMENT OPTIMAL



Gonze Cyril

OPENCLASSTOOMS – Data Analyst

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RAPPORT ÉCRIT SUR LA MODÉLISATION D'UNE ÉOLIENNE EN FONCTIONNEMENT OPTIMAL</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>L'ÉNERGIE ÉOLIENNE ET LES ÉOLIENNES</b>	<b>1</b>
<b>LES DIFFÉRENTS MODÈLES D'ÉOLIENNES</b>	<b>2</b>
LES ÉOLIENNES À AXES HORIZONTAL	2
LES ÉOLIENNES À AXES VERTICAL (3 TYPES)	2
Type Savonius	2
Type Darrieus	3
Type à voile tournante	3
<b>PETITE HISTOIRE DE L'ÉOLIENNE, D'HIER À AUJOURD'HUI</b>	<b>4</b>
LES MOULINS À VENT	4
LES PREMIÈRES ÉOLIENNES ÉLECTRIQUES	4
LA PREMIÈRE ÉOLIENNE AUTOMATIQUE DESTINÉE À LA PRODUCTION DE LA « FÉE VERTE » VIENT DE VOIR LE JOUR	4
L'ARRIVÉE DES ÉNERGIES FOSSILES	4
LE MOUVEMENT EST RELANCÉ ?	4
<b>BILAN ENVIRONNEMENTAL</b>	<b>5</b>
ASPECT ENVIRONNEMENTAL	5
Impacts sonores et visuels	5
Impact sur les oiseaux et chauve-souris	5
Impact sur la dynamique terrestre naturelle	6
<b>QUELQUES CHIFFRES DE COMPARAISON DES PRODUCTIONS DES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE</b>	<b>6</b>
<b>MODÉLISATION D'UNE ÉOLIENNE EN FONCTIONNEMENT OPTIMAL</b>	<b>7</b>
LE SITE DE LA HAUTE BORNE	7
LES DONNÉES	8
NETTOYAGE DES DONNÉES	8
GRAPHIQUE	8
CONCLUSION	10
<b>RÉFÉRENCE</b>	<b>11</b>

# RAPPORT ÉCRIT SUR LA MODÉLISATION D'UNE ÉOLIENNE EN FONCTIONNEMENT OPTIMAL

## INTRODUCTION

Dans le cadre de ma formation de Data Analyst, il m'a été demandé de réaliser un projet libre. Ce projet veut principalement évaluer mes capacités à transmettre des informations et à rédiger des rapports impactant. Compétence très importante en tant que Data Analyst.

Afin de réaliser ce projet, j'ai choisi d'étudier les éoliennes et de réaliser un modèle de prédiction d'un fonctionnement optimal pour les éoliennes situées dans le parc appelé « La haute borne ».

Dans la première partie du rapport, je vous parlerai de l'énergie éolienne et de la technologie en rapport afin de comprendre au mieux le sujet dont il sera question.

Ensuite, nous parlerons du site étudié ainsi que de la problématique business.

Pour finir, je vous présenterai la manière dont j'ai procédé pour aboutir au modèle qui nous servira à répondre à cette problématique.

## L'ÉNERGIE ÉOLIENNE ET LES ÉOLIENNES

**L'énergie éolienne** est l'énergie du vent qui, transformée au moyen d'un aérogénérateur (éolienne) nous donne une énergie directement utilisable.

**Une éolienne** est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite le plus souvent transformée en énergie électrique, appelée énergie éolienne. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs.

Les termes « **centrale éolienne** », « **parc éolien** » ou « **ferme éolienne** » sont utilisés pour décrire les unités de production groupées, installées sur terre ou en mer. Pour l'élaboration de cette étude, nous avons étudié un parc éolien contenant 4 éoliennes.

# LES DIFFÉRENTS MODÈLES D'ÉOLIENNES

Nous pouvons distinguer deux catégories d'éoliennes :

## LES ÉOLIENNES À AXES HORIZONTAL

C'est l'éolienne classique. Ce type d'aérogénérateur est le plus répandu. Il utilise la force de portance du vent appliquée aux pales, à la manière des ailes d'un avion, pour actionner un générateur électrique ou une pompe. L'étude porte sur ce type d'éolienne.

### *Quelques modèles d'éoliennes à axes horizontal*



## LES ÉOLIENNES À AXES VERTICAL (3 TYPES)

### **Type Savonius**

Constitué de demi-cylindres reliés à un axe vertical, ce type d'éolienne utilise la force de traînée du vent, sur le principe des moulins à vent. Son rendement est plus faible que celui des éoliennes qui utilisent la force de portance, mais ce type de machine permet d'exploiter des vitesses de vent plus faibles (plus silencieux et moins encombrant, il s'intègre mieux en milieu urbain).



### Type Darrieus

À pales verticales, paraboliques ou hélicoïdales, les éoliennes de type Darrieus utilisent la force de portance du vent, comme les éoliennes classiques. Cependant, leur encombrement plus faible est un avantage en termes d'intégrations paysagère et architecturale.



### Type à voile tournante

Les éoliennes à voile tournante sont équipées de pales dont l'orientation dynamique permet de mieux exploiter l'énergie du vent, à la manière d'un navire à voile.

Ce mécanisme rend possible l'exploitation de vents plus puissants que ceux que peuvent exploiter les éoliennes classiques à trois pales. En outre, le bruit généré est fortement réduit par ce système.



# PETITE HISTOIRE DE L'ÉOLIENNE, D'HIER À AUJOURD'HUI

Les éoliennes sont en tout point positives pour la société et l'environnement : moins de pollution, pas de gaz à effet de serre, pas de déchets toxiques ou radioactifs notamment ! Cependant, si l'on remonte à son origine, on peut voir que cette forme d'énergie durable efficace sur le long terme a malheureusement souffert au début du XXème siècle de l'essor des énergies fossiles.

## LES MOULINS À VENT

Dès l'antiquité, les moulins à vent se développent. Apparus à l'an 600 au Moyen Orient, ils se sont ensuite implantés en Egypte. Les moulins à vent sont apparus en Europe (Grande Bretagne d'abord) un peu avant l'an 1000 puis ils se sont généralisés au XIIème siècle dans toute l'Europe. Ils étaient construits sur le modèle des éoliennes à axe vertical.

## LES PREMIÈRES ÉOLIENNES ÉLECTRIQUES

L'apparition des premières éoliennes électriques se fait à la fin du XIXème siècle, sous forme expérimentale. C'est Charles F. Bush à Cleveland (Etats-Unis) qui met en place ce dispositif pour alimenter sa maison en électricité. C'est le coup d'envoi de 20 ans d'autonomie assurée grâce à ce dispositif de 18 mètres de haut et de 17 mètres de diamètre.

## LA PREMIÈRE ÉOLIENNE AUTOMATIQUE DESTINÉE À LA PRODUCTION DE LA « FÉE VERTE » VIENT DE VOIR LE JOUR

A peu près au même moment, Poul La Cour établit un prototype bâti sur le terrain de l'école d'Askov en présentant un nombre moindre de pales afin de produire davantage d'électricité en tournant plus vite. C'est la première éolienne dite industrielle. En 1918, dix ans après la mort de celui qu'on surnomme « L'Edison danois », 3 % de l'énergie produite au Danemark provient déjà de l'éolien.

## L'ARRIVÉE DES ÉNERGIES FOSSILES

Au fil des progrès de la mécanique et de l'aérodynamique, la productivité des éoliennes ne cesse de s'améliorer. Pourtant, des vents contraires soufflent sur son développement, la faute au charbon puis au pétrole bon marché, et enfin à la fission de l'uranium.

## LE MOUVEMENT EST RELANCÉ ?

Le progrès n'attend pas. En 1957, c'est encore un Danois, Johannes Juul qui conçoit sa turbine de Gedser d'une puissance de 200 kW. Ce modèle qui est le premier à produire du courant alternatif a largement inspiré la conception des éoliennes actuelles. Les énergies renouvelables ont de nouveau le vent en poupe après les deux chocs pétroliers et les parcs éoliens ne cessent de s'étendre. Entre 2000 et 2012, la production mondiale d'électricité d'origine éolienne est multipliée par 28 (la production mondiale d'éolien étant de 1 039 Twh). Le mouvement est véritablement lancé.

Ces machines partent également à la conquête de la mer, éolien offshore ou éoliennes flottantes, attraper des vents puissants, c'est prometteur pour la productivité énergétique.

## BILAN ENVIRONNEMENTAL

### ASPECT ENVIRONNEMENTAL

Une étude réalisée en 2008 considère l'éolien comme la filière ayant le meilleur bilan environnemental global : pas de consommation d'eau douce, pas de pesticides, pas de pollution thermique. Elle n'empêche pas non plus les activités agricoles, dû à la surface au sol utilisée très faible. De plus, elle est disponible partout. Elle ne produit pas de déchets nocifs pour l'environnement ou l'homme.

Cependant, sa construction nécessite des éléments dont l'extraction et le raffinage s'avèrent très polluants.

#### **Impacts sonores et visuels**

Des études sont menées à ce jour pour connaître les réels impacts sonores et infrasonores des éoliennes. Il existe déjà une réglementation stricte en vigueur, mais il se pourrait que celle-ci soit renforcée afin d'éviter des maux tels que « stress, nausées, insomnies, vertiges, irascibilité, dépression, ... ».

Il y'a également un débat sur l'impact visuel, les opposants accusant les structures de défigurer le paysage.

#### **Impact sur les oiseaux et chauve-souris**

La encore, des études ont été menées mais le débat n'est pas clos pour autant.

Au Royaume-Uni, la Société royale pour la protection des oiseaux a ainsi conclu que : « *Les preuves disponibles suggèrent que des parcs éoliens correctement positionnés ne représentent pas un danger significatif pour les oiseaux.* »

Les chauves-souris cependant semblent souffrir beaucoup des grandes installations : la mortalité augmenterait de façon exponentielle en fonction de la hauteur.

Un article publié dans Science & Vie en Janvier 2019 indique que plusieurs études montrent que les parcs éoliens modifient l'écosystème.

**Impact sur la dynamique terrestre naturelle**

Un rapport affirme que l'utilisation généralisée de l'énergie éolienne provoquerait un changement dans les précipitations, dans la dissipation de chaleur par convection, ainsi qu'une augmentation des radiations solaires à la surface de la Terre. En conclusion, il préconise de lancer des études complexes de modélisation pour accompagner et limiter le développement de l'utilisation de l'énergie éolienne.

## QUELQUES CHIFFRES DE COMPARAISON DES PRODUCTIONS DES DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE

**Un aérogénérateur** : de quelques kW à 7,5 MW ; la plupart des grandes éoliennes installées aujourd'hui en France ont une puissance de 1 à 3 MW. En général, elles sont rassemblées en fermes éoliennes de 6 à 210 MW.

**Une centrale thermique à flamme** : 120 à 790 MW.

**Une centrale solaire photovoltaïque** : de quelques centaines de watts à 250 MW.

**Une centrale solaire thermodynamique** : de 2 à 350 MW.

**Une centrale hydro-électrique** : de quelques kW à plus de 10 000 MW.

**Un réacteur nucléaire** : de l'ordre de 900 à 1 500 MW.



# MODÉLISATION D'UNE ÉOLIENNE EN FONCTIONNEMENT

## OPTIMAL

Vu l'essor que connaît actuellement l'énergie éolienne, une économie s'est naturellement installée autour de celle-ci. Du constructeur d'éoliennes au consommateur d'électricité, en passant par le revendeur, tout le monde veut profiter de manière optimale des capacités qu'elles offrent.

Pour éviter tout abus et/ou optimiser l'utilisation d'une éolienne, il est nécessaire de développer des outils de contrôle se basant sur les mesures captées sur le terrain afin de comparer la puissance maximale théorique à la production réelle. Ceci afin de détecter des problèmes éventuels qui pourraient faire baisser la production d'énergie.

C'est pourquoi j'ai créé ce modèle de prédiction d'une éolienne en fonctionnement optimal.

Afin de réaliser mon étude je me suis basé sur le site de la haute borne. Toutes les données sont disponibles librement sur le site de Engie.

### LE SITE DE LA HAUTE BORNE

Le site de la haute borne est situé dans le département de la Meuse dans la région du Grand Est.



Le site est constitué de 4 éoliennes

Les éoliennes sont des modèles MM82. Ce sont des éoliennes tri-pales à axe horizontal. La hauteur du mat est de 80m et le diamètre de pâles est de 82m. Elles ont une puissance théorique de 2050kW.

Ces éoliennes ont été placées en 2013.

## **LES DONNÉES**

Les données utilisées pour la réalisation de ce travail s'étendent de l'année 2013 à l'année 2016. La base de données est constituée de 840 000 lignes.

Les informations suivantes me seront utiles :

- L'angle de la pale
- La puissance générée
- La vitesse du générateur
- Le torque
- La vitesse du vent
- La direction du vent
- La température extérieure

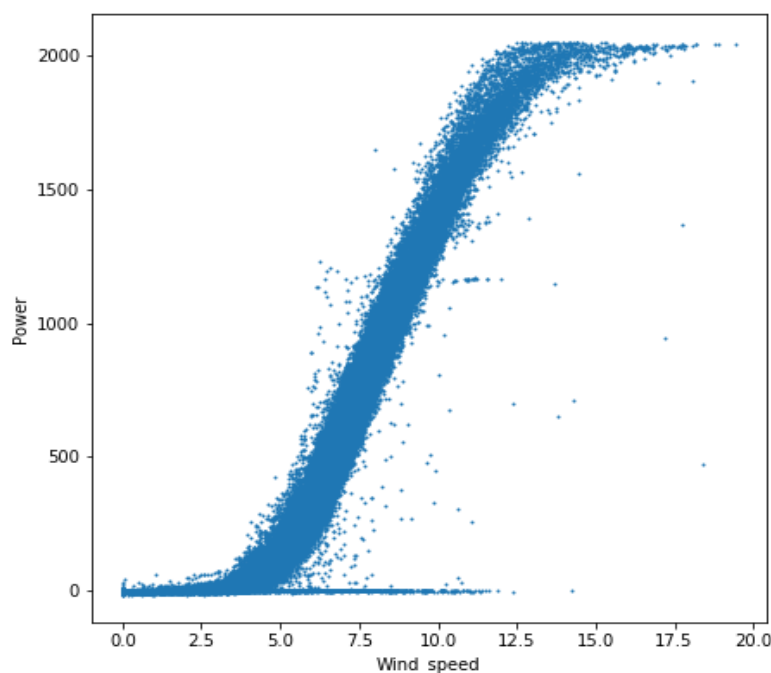
## **NETTOYAGE DES DONNÉES**

Tout d'abord, la base de données a été nettoyée de ses données aberrantes, incorrectes et vides.

Elle a ensuite été séparées en 4 : un groupe par éolienne, soit environ 200 000 lignes.

## **GRAPHIQUE**

Afin d'analyser de ces données, je commence par les visualiser graphiquement. On peut remarquer plusieurs points qui ne coïncident pas avec un fonctionnement optimal



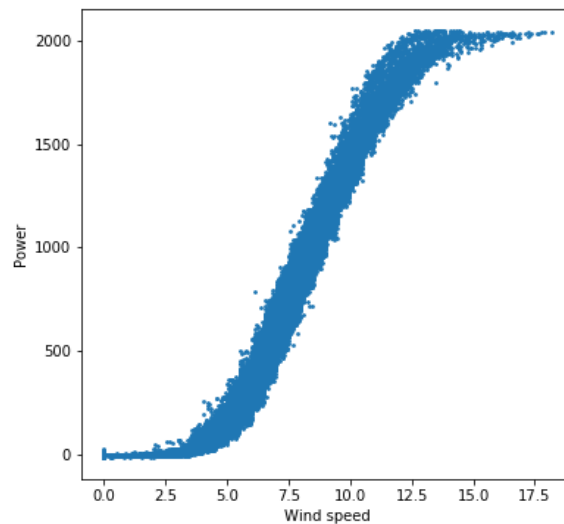
Il existe un effet de seuil dans la courbe de puissance au environ de 10m/s. Il y a également des mesures de puissance nulles malgré un vent supérieur à 3m/s. Enfin il y a une variance élevée dans le couple.

Afin de réduire cette variance je vais calculer les percentiles 5 et 96 sur les données, groupées par vitesse de vent, direction de vent et mois de l'année.

La raison pour laquelle on fait ces groupes est d'avoir une précision bien plus grande pour les percentiles et ne pas éliminer des lignes qui correspondent à un fonctionnement optimal.

Les autres données sont filtrées sur base d'analyse visuelle.

***Voici le résultat après filtrage des données***



Cela nous donne la courbe de puissance d'une éolienne en fonctionnement optimal.

Il ne reste plus qu'à modéliser en se servant du mois, de la vitesse du vent, la direction du vent, la température pour expliquer la puissance générée.

J'ai créé le modèle en utilisant l'algorithme XGBoost. Ce qui me donne une variance expliquée de 99.2% ce qui est énorme.

## **CONCLUSION**

Nous avons un modèle robuste et précis pour la puissance. Il est possible d'adapter pour d'autres variables (Vitesse ou température du générateur,... )

Nous pouvons désormais estimer la puissance générée par une éolienne à condition d'avoir les variables explicatives.

Cela peut donc servir d'instrument de contrôle, avec une marge de 10% ( 5 en-dessous, 5 au-dessus )

Si les chiffres ne correspondent pas, il est facile de mettre en évidence un manquement de la part de l'utilisateur ou un manque d'entretien. Ou encore démontrer une publicité mensongère de la part d'un vendeur !

## RÉFÉRENCE

<https://opendata-renewables.engie.com/explore/dataset/static-information/table/>

<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-sont-types-eoliennes-1226/>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_%C3%A9olienne](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne>