

## Prédictions de la production de l'éolien

L'EMS et les modèles de prédiction de la **production** et de la **consommation** pour l'**optimisation** sont en amélioration continue : les résultats de cette étude sont partiels et doivent être validés sur base régulière.

### Objectif

Notre objectif est d'être capable de produire des **prévisions de production de l'énergie électrique des éoliennes**, basé sur les prévisions de météo, afin de prendre en compte cette production d'énergie dans l'optimiseur de l'EMS. Ceci nous permettra de construire une stratégie de stockage/consommation d'énergie électrique en accord avec les objectifs (coût, durabilité, etc.).

### Données disponibles

Nous avons à notre disposition deux ensembles de données :

- Des données de prévision sur la vitesse et la direction du vent obtenues par une source externe (le site internet OpenWeatherMap),
- Des données sur la turbine installée sur le plateau de Herve :
  - La vitesse du vent à la bonne hauteur mesurée,
  - L'orientation de la nacelle de l'éolienne,
  - La vitesse de rotation du rotor,
  - L'énergie électrique produite par éolienne.

## Problématique

La production de l'énergie électrique d'une éolienne dépend de la vitesse du vent à laquelle sont soumises les pales de cette dernière. La problématique à adresser peut donc se diviser en deux parties :

- Prédire la vitesse du vent au niveau des pales (ou du rotor),
- Calculer l'énergie électrique produite en fonction de la vitesse du vent local.

Les constructeurs d'éolienne fournissent la courbe qui lie la vitesse du vent à la production de l'énergie électrique, mais la courbe fournie est mesurée en général dans les conditions optimales. En pratique, nous observons que l'énergie produite en fonction du vent ne correspond pas tout à fait aux données fournies par le constructeur. Il faut donc modéliser l'énergie réellement produite par l'éolienne en fonction du vent.

### Étapes de la recherche :

En nous basant sur les données disponibles, la méthode à suivre est décrite par les étapes suivantes :

1. Déterminer le lien entre les données de prévisions météo (la vitesse et la direction du vent) et les données mesurées sur le site par l'éolienne,
2. Modéliser la production de l'énergie électrique en fonction des données mesurées sur site,
3. Etablir la chaîne complète entre les prévisions météo et la production d'énergie électrique afin de pouvoir proposer des prévisions sur la production de l'énergie électrique par l'éolienne.

## Etape 1 : le lien entre les données météo et les mesures sur le site de l'éolienne

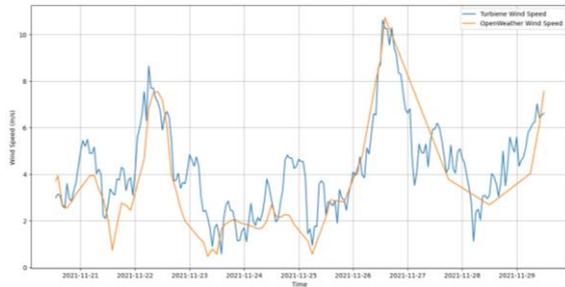


Figure 1 : vitesse du vent en fonction du temps avec les mesures de l'éolienne et les prévisions météo de OpenWeatherMap.

Sur la Figure 1 : vitesse du vent en fonction du temps avec les mesures de l'éolienne et les prévisions météo de OpenWeatherMap. Figure 1 : en bleu, les données de la vitesse du vent mesurée sur site par l'éolienne et en orange les données de prévision météo que nous avons obtenues via le site spécialisé : OpenWeatherMap. Il y a une certaine corrélation entre les deux courbes et elles se suivent : Les deux courbes sont corrélées à 85% et que le coefficient de détermination linéaire de Pearson ( $R^2$  score) est de 54%.

L'objectif de l'étape 1 est d'améliorer cette corrélation, comme suit :

- Appliquer une correction : La correction linéaire se construit sur la base de la moyenne en amplitude des données mesurées sur le site de l'éolienne et les prévisions météo.
- Prendre en compte la direction du vent : Il faut s'assurer que la direction du vent mesurée, ou l'orientation (l'azimut) de la nacelle de l'éolienne et les prévisions météo sont corrélées.

Une façon de déterminer la différence entre la vitesse du vent mesurée par l'éolienne et les prévisions météo est de calculer le rapport entre ces deux sources. Connaître cette différence en fonction de la direction du vent nous permet

d'apporter une correction à nos prévisions de la vitesse du vent.

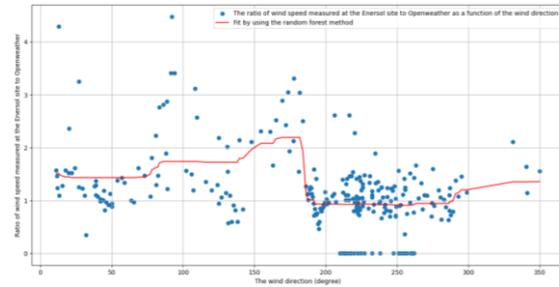


Figure 2 : les points bleus représentent le rapport entre la vitesse du vent d'OpenWeatherMap et la vitesse du vent mesurée par l'éolienne sur site en fonction de la direction du vent d'OpenWeatherMap.

Lorsque ce rapport est égal à 1, l'erreur est nulle. Cette courbe nous donne des informations sur le relief du site. Nous avons modélisé les variations du rapport en utilisant la méthode Random Forest (intelligence artificielle) représentée par la courbe rouge.

Sur la Figure 3, nous avons la synthèse des corrections possibles à appliquer à des données de prévision météo de la vitesse du vent. En orange, nous avons la vitesse brute, elle est corrélée à 85% avec la vitesse mesurée par l'éolienne avec un  $R^2$  score de 54%. En vert, une correction linéaire est appliquée, la corrélation reste la même que pour les données brutes, mais le  $R^2$  score est très mauvais, seulement 3%. Et enfin, en rouge, une correction en fonction de la direction du vent a été appliquée. La corrélation est moins bonne que pour les données brutes et la correction linéaire, bien que le  $R^2$  score soit un peu meilleur que pour la correction linéaire. Nous avons décidé de garder les données brutes.



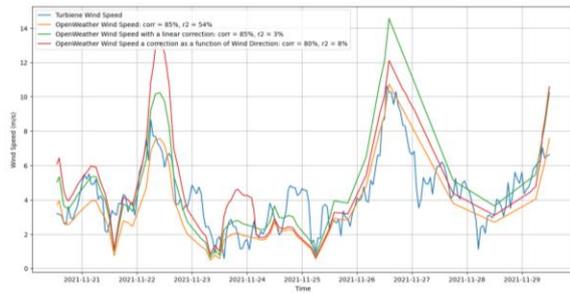


Figure 3 : sur cette figure, en bleu, nous avons la vitesse du vent de l'éolienne, en orange les données de prévision brutes issues de OpenWeatherMap, à la courbe verte a été appliqué la correction linéaire et la courbe rouge présente les données corrigées en fonction de la direction du vent.

## Etape 2 : Production de l'énergie électrique en fonction de la vitesse du vent

Ici, nous abordons la modélisation de la production de l'énergie électrique en fonction des données mesurées sur site.

La Figure 4, représente l'énergie électrique produite par le générateur de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent mesurée localement. Sur cette figure, nous pouvons remarquer ceci :

1. Dans l'encadré vert, il existe des points de mesure à énergie nulle pour des vitesses de vent non nulles. Ces points sont dus au fait que l'éolienne est parfois arrêtée manuellement alors qu'il y a du vent. Nous pouvons filtrer ces points en fonction de la vitesse de rotation du rotor de l'éolienne.
2. Il existe des points de mesure qui dépassent la puissance énergétique maximale annoncée par le fabricant, à savoir 95kW pour l'éolienne sur site.

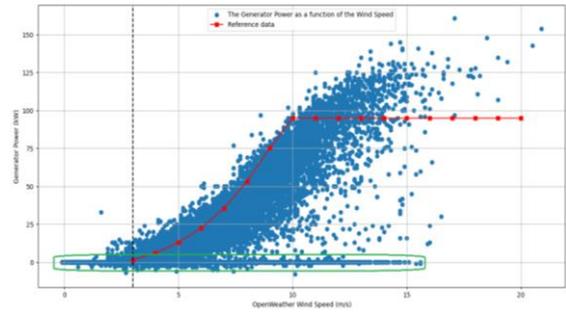


Figure 4 : les points bleus représentent l'énergie électrique produite par le générateur de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent mesurée localement (par l'éolienne). La courbe rouge représente la même information, mais issue des données du fabricant. La ligne pointillée marque la limite inférieure de la vitesse du vent pour laquelle il peut y avoir une production d'énergie électrique.

Nous ne corrigerons pas les points qui dépassent la puissance maximum indiquée par le fabricant mais nous nous basons sur les données réelles de vitesse de rotation du rotor pour filtrer les données de la production d'énergie.

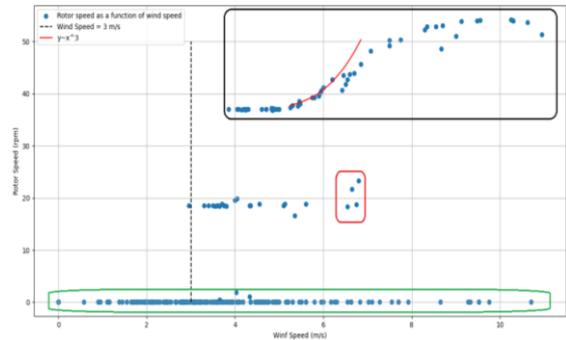


Figure 5 : les points bleus sont la vitesse de rotation du rotor de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent, la ligne pointillée noire marque la limite de la vitesse du vent = 3m/s en dessous de laquelle il n'y a pas de production électrique, et la courbe rouge est une équation cubique qui a pour but de nous aider à mieux analyser les données.

La figure 5 montre la vitesse de rotation du rotor de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent mesurée localement, nous pouvons identifier trois zones, délimitées par les encadrés noir, vert et rouge. Les points dans l'encadré vert représentent soit une vitesse de vent trop faible (moins de 3m/s) soit l'arrêt de l'éolienne. Les points dans l'encadré noir



forment la courbe caractéristique de la puissance de l'éolienne en fonction de la vitesse du vent (il y a le profil de conversion entre la vitesse et la puissance).

On suppose que les points dans l'encadré rouge viennent du bridage de l'éolienne. (Nécessaire pour limiter le bruit par résonnance) Cette analyse nous suggère de filtrer les points dans les encadrés vert et rouge et de ne travailler que sur les points dans la case noire.

Figure 6 : cette simplification affiche en bleu la courbe modélisant la production d'énergie électrique à partir des données mesurées sur site. Ce résultat peut être adapté facilement pour un autre modèle d'éolienne.

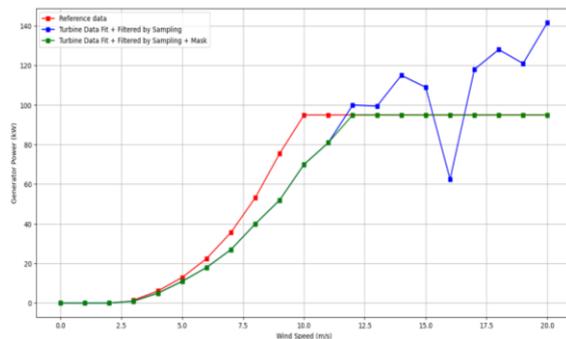


Figure 6 : les deux courbes bleue et verte reconstituent la médiane de l'énergie électrique produite par l'éolienne filtrée en fonction de la vitesse du vent. La courbe verte a la particularité d'être limitée par la valeur maximum de production électrique de l'éolienne annoncée par le constructeur.

### Etape 3 : la chaîne complète

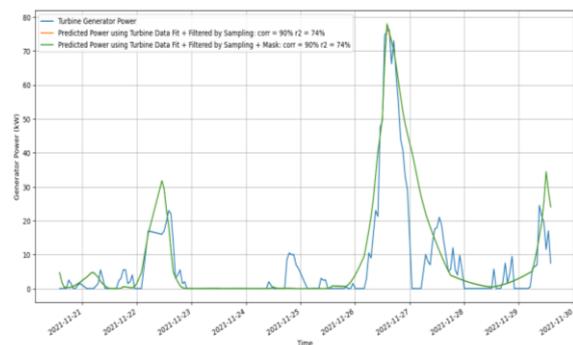


Figure 7 : le résultat de la chaîne complète. (Etape 1 et Etape 2)

Nous avons en bleu la production de l'énergie électrique mesurée en sortie du générateur de l'éolienne et en orange (confondue avec la courbe verte) la prévision de production d'énergie électrique basée sur les données météo issues du site OpenWeatherMap et traité par notre modèle.

Nous constatons que la courbe calculée à partir des données météorologiques par notre modèle est corrélée environ à 90% avec les mesures de l'éolienne, et le  $R^2$  score est d'environ 74%.

### Résultats et conclusion :

Nous avons modélisé la chaîne complète qui lie les prévisions de météo sur la vitesse du vent issue du site OpenWeatherMap à la production d'énergie électrique de l'éolienne installée sur un site partenaire et nos résultats sont corrélés de l'ordre de 90% avec les mesures sur le site physique, et ils ont un  $R^2$  score qui est de l'ordre de 74%.

Cette recherche est générique et pourrait s'adapter facilement à différentes sources de prévision météo et à différents modèles d'éolienne.

