

## Produire de l'électricité avec un cerf-volant. Que du vent ?

Étant un pratiquant de Kitesurf, j'ai souhaité étudier un sujet proche de ma passion. De plus, je désire poursuivre mon cursus vers le domaine du génie énergétique, c'est pourquoi l'idée de convertir l'énergie produite par le mouvement d'un cerf-volant m'a séduite.

La raréfaction des ressources fossiles ainsi que leurs impacts sur le climat et l'environnement est l'un des enjeux sociétaux du XXI<sup>e</sup> siècle. Afin de sécuriser l'approvisionnement énergétique d'un pays, il est nécessaire de diversifier les sources d'énergie.

L'étude s'appuie sur un système de production d'électricité via la traction d'un cerf-volant.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Énergétique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Conversion d'énergie éolienne</i>	<i>Wind-energy conversion</i>
<i>Cerf-volant</i>	<i>Kite</i>
<i>Conversion de puissance de traction</i>	<i>Traction power conversion</i>
<i>Production d'électricité</i>	<i>Electricity production</i>
<i>Système de traction par cycle de pompage</i>	<i>Pumping kite-power system</i>

### Bibliographie commentée

Le réchauffement climatique causé par l'émission de gaz à effet de serre nous pousse à diminuer notre utilisation des combustibles fossiles et notamment ceux utilisés dans la production d'électricité. Le recours à l'énergie éolienne comme moyen de production d'électricité est vu comme une solution durable à ce problème. Néanmoins, l'éolien classique fait face à quelques problèmes et notamment le faible facteur de charge, désignant le ratio entre l'énergie effectivement produite sur une période et l'énergie produite en fonctionnement nominal, qui est de 24,7 % sur l'année 2019 contre 75% pour le nucléaire, du fait de l'intermittence des vents. D'ailleurs cette production irrégulière doit être compensée par des centrales à gaz, au charbon ou nucléaire. C'est pourquoi l'utilisation de cerf-volant permettant d'exploiter les vents d'altitude permettrait de produire de l'électricité de manière moins épisodique. Les cerfs-volants existent depuis l'Antiquité mais leur utilisation en tant que convertisseur d'énergie éolienne est récente. C'est pourquoi la littérature à leur sujet reste peu développée. [1][2]

Le système se compose d'un cerf-volant relié à un treuil par l'intermédiaire d'un treuil. Ce dernier se déroule lorsque que le cerf-volant vole dans les airs en effectuant un mouvement en huit. Ce mouvement est contrôlé par une carte de commande située au niveau des suspentes de l'aile, ainsi la trajectoire du cerf-volant est assurée d'être optimale à chaque instant. La carte de commande

contrôle la longueur des suspentes afin de manoeuvrer le cerf-volant, ainsi que la différence de longueur entre les lignes avant et arrière, ce qui détermine l'angle d'attaque. Lorsque le treuil se déroule, il entraîne un alternateur électrique.

Un accumulateur hydraulique est également ajouté afin de stocker de l'énergie potentielle sous forme de pression qui peut être exploitée pour entraîner l'alternateur et atténuer les effets des variations de vitesse de l'aile. Lorsque le câble est déroulé au maximum, le cerf-volant se positionne au zénith de la fenêtre de vol, lieu où le cerf-volant est à l'équilibre aérodynamique. C'est à cet endroit que le treuil se ré-enroule : la station au sol bascule en mode moteur. L'intérêt est donc d'utiliser le moins d'énergie possible pour la phase d'enroulement. Certains systèmes font voler deux cerfs-volant simultanément. Lorsque l'un est phase d'ascension, l'autre se positionne au zénith et le treuil se rembobine. C'est pourquoi, la littérature mentionne le nom de cycles de pompage. [3],[4]

L'entreprise KPS a construit une version de 500kW en Ecosse, utilisant deux ailes de 16m2. Or une éolienne de cette puissance a besoin d'un diamètre de 54m. Alors que les éoliennes doivent être arrêtées pendant les tempêtes, le système par cerf-volant peut opérer avec ces conditions. De plus, en cas de casse, le câble reste un matériau peu coûteux à remplacer à la différence d'une pale d'éolienne. [5]

Selon un rapport IRENA [6], le coût de l'électricité de source éolienne offshore est de 115\$/MWh pour l'année 2019 et va continuer de baisser jusqu'à 90\$/MWh en 2050. Une étude menée par KPS montre que le prix de l'électricité du système par cerf-volant est de 62,5\$/MWh en 2020 et sera de 50\$/MWh en 2050 : un prix concurrençant les centrales à gaz (80\$/MWh) ou à charbon (120\$/MWh).

En 1980, Miles L. Loyd [2] est l'un des premiers à formuler un modèle et à démontrer l'intérêt de générer de l'électricité via la traction de ces ailes. Mais ce n'est que dans les années 2000 que les laboratoires de recherche et les entreprises tels que Kitegen, Skysails se lancent dans l'aventure. Uwe Fechner [1] intègre quand à lui la notion de cycle de pompage permettant de définir un rendement de conversion. Les difficultés résident dans l'élaboration et l'étude des modèles régissant le mouvement du cerf-volant. En effet la résolution des équations différentielles obtenues est délicate puisque elles sont couplées et non linéaire. De plus un système de contrôle de l'aile permettant de lui faire suivre une trajectoire en huit prédéterminée est nécessaire. [4][5]

## **Problématique retenue**

Dans quelle mesure le mouvement en "huit" du cerf-volant couplé aux cycles de pompage permet-il de convertir au mieux l'énergie éolienne ?

## **Objectifs du TIPE**

Modélisation : Conception d'un modèle simple de connaissance régissant le déplacement du cerf volant. Simulations numériques

Expérimentation : Mise en place d'un système réduit de conversion d'énergie éolienne (Construction

d'un treuil) et relevé de mesures.

Observations : Comparaison entre les simulations informatiques et les résultats expérimentaux.  
Estimation des erreurs.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] FECHNER, UWE : A Methodology for the Design of Kite-Power Control Systems (Anglais) : 2016, DOI: 10.4233/uuid:85efaf4c-9dce-4111-bc91-7171b9da4b77
- [2] MILES L. LOYD : Crosswind KitePower (Anglais) : *Journal of Energy*, Vol. 4, No. 3, 1980, DOI: 10.2514/3.48021
- [3] MARIAM AHMED, AHMAD HABLY, SEDDIK BACHA : Kite Generator System Modeling and Grid Integration (Anglais) : *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, IEEE, 2013, pp.968-976, DOI: 10.1109/TSTE.2013.2260364
- [4] ASHLEY HAN YAN : Modelling and Control of Surfing Kites for Power Generation (Anglais) : *Auckland University of Technology* 2017, [hdl.handle.net/10292/10656](http://hdl.handle.net/10292/10656)
- [5] IMRAN AZIZ : Design of a High Altitude Wind Power Generation System : 2013, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:697691/fulltext01.pdf>
- [6] IRENA : Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper) : 2019, *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*.

## DOT

- [1] *Février 2020 : Recherche d'un sujet*
- [2] *Juillet 2020 : Analyse fonctionnelle du besoin - Etat de l'art - Recherche Bibliographique*
- [3] *Aout 2020 : Rencontre avec d'autres pratiquants de Kitesurf*
- [4] *Septembre 2020 : Elaboration du modèle - Simulation Python - Première rédaction d'un protocole expérimental*
- [5] *Novembre 2020 : Reprise du protocole expérimental - Recherche du matériel (Cerf-volant, Cadre Vélo, Génératrice, ...)*
- [6] *Janvier 2021 : Construction du treuil à partir d'un cadre de vélo - Premier Essai sur la plage avec différentes conditions météorologiques*
- [7] *Mars 2021 : Deuxième Essai - Comparaison des relevés obtenus - Résultats satisfaisant*
- [8] *Mai 2021 : Caractérisation des écarts - Interprétation - Perspectives*