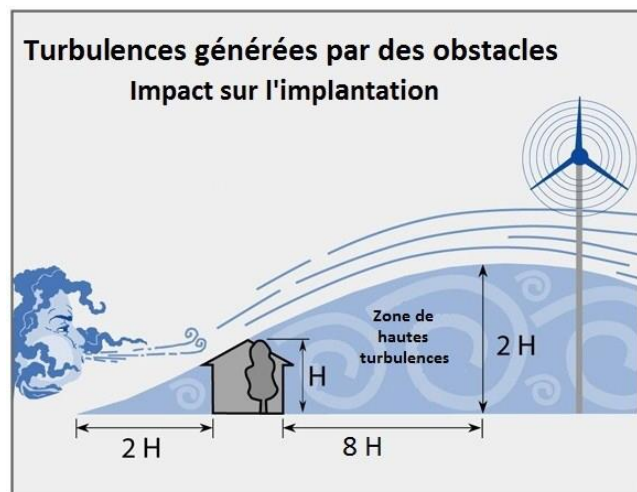


EOLIENNE HYBRIDE SAVONIUS-DARRIEUS H

*Il y a ceux qui voient les choses telles qu'elles sont
et qui se demandent pourquoi.
Moi, je les vois telles qu'elles pourraient être
et je me dis : pourquoi pas !
(Sir Bernard Shaw)*

Sachant qu'en Belgique sauf à la côte, « pendant plus de 60 % du temps, la vitesse du vent est inférieure à 20 km/h » (Cf. <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/?IDR=3463>), le fonctionnement des éoliennes horizontales en situation urbaine, est fortement perturbé e.a. par l'impact des habitations ; il faudrait alors qu'elles soient d'une hauteur dépassant largement les 11m généralement admis par l'urbanisme local ; la hauteur autorisée ne dépasse en effet pas la distance avec les limites des propriétés voisines



Pertinence du choix d'une éolienne DARRIEUS par rapport à l'éolienne horizontale :

Dans notre cas précis, divers avantages apparents confortent le choix d'une éolienne DARRIEUS (verticale) à la place d'une éolienne horizontale, suivant les sources suivantes (N.B. Ces dernières sont certes sujettes à vérification sur le terrain concret concernant le cas des petites éoliennes horizontales et dont les caractéristiques de fonctionnement peuvent alors avantageusement différer des autres sur certains points) :

* « Elle offre [...] une bonne indépendance vis-à-vis de la direction du vent, ce qui lui donne un avantage certain au regard des éoliennes à axe horizontal. »

(Cf. : <https://enerlice.fr/2017/06/24/savoir-leolienne-savonius/>)

* « Le principal avantage d'une éolienne à axe vertical par rapport à une éolienne à axe horizontal est son insensibilité à la direction du vent et aux turbulences. »

(Cf. <https://eolienneshop.com/blogs/blog-eolienne/tout-savoir-sur-l-eolienne-darrieus>)

* Suivant EDF, le seuil de déclenchement d'une éolienne horizontale nécessite au moins une vitesse de vent de 15 km/h (Cf. <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-eolienne>) et elle ne fonctionnerait que moins de 40% du temps.

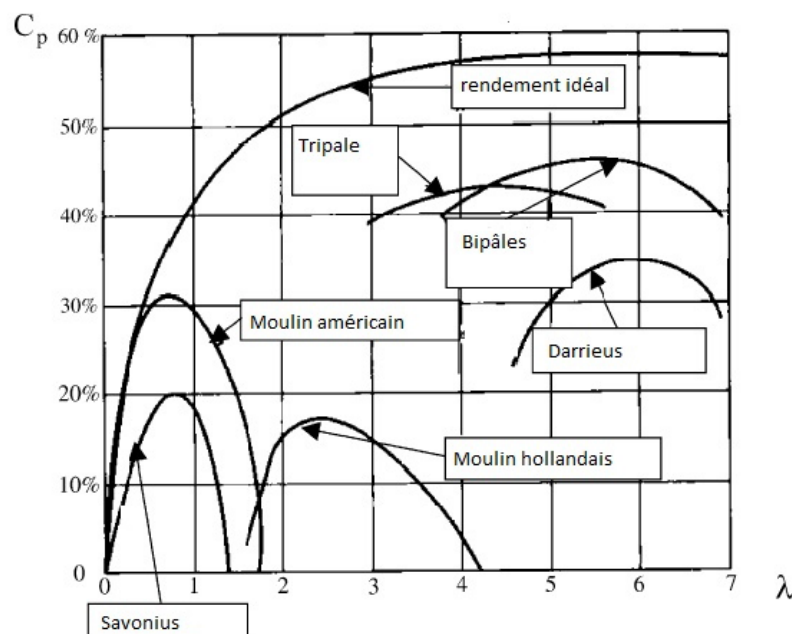
N.B. Des témoignages concrets attestent pourtant qu'une éolienne *domestique* horizontale démarrerait avec des vents d'une vitesse bien moindre et fonctionnerait 60 % du temps. Il est regrettable que trop de sources comme celle de EDF mettent tous les types d'éoliennes horizontales dans le même sac...

* « L'éolienne Darrieus, [...], est moins bruyante qu'une éolienne horizontale et résiste aux vents puissants, qu'elle capte d'ailleurs dans toutes les directions. De plus, le générateur peut être placé au sol et sera donc plus facile à entretenir. » (Cf. www.wekiwi.fr/post/eoliennes-verticales-fonctionnement-et-avantages)

* Les éoliennes Darrieus « peuvent s'avérer **efficaces dans des milieux urbains où les vents sont moins rapides**. Les éoliennes à axe vertical, raccourcies en VAWT, ont l'arbre du rotor principal disposé verticalement. Le principal avantage de cette disposition est que l'éolienne n'a **pas besoin d'être orientée dans le sens du vent**. C'est un **avantage sur les sites où la direction du vent est très variable ou a des vents turbulents**. Avec un axe vertical, le générateur et les autres composants primaires peuvent être placés près du sol, de sorte que la tour n'a pas besoin de le supporter, ce qui facilite également la maintenance. » (Mise en gras conservée). (Cf. <https://eolienneshop.com/blogs/blog-eolienne/tout-savoir-sur-l-eolienne-darrieus>)

* Les éoliennes verticales n'ont pas besoin d'être haubanées, ce qui les rend plus discrètes dans le paysage. De plus, elles ne s'emballent pas contrairement aux éoliennes horizontales qui doivent être freinées à temps ce qui, d'une part, est une source de stress vu le risque d'avarie grave et, d'autre part, stoppera alors toute production.

N.B. Le graphique suivant définit le coefficient de pression en fonction de la vitesse spécifique, ce qui donne une idée des performances des différents types d'éoliennes :



Source : *Effect of turbulence on Savonius Rotor Efficiency*. Fluids Laboratory, Jeff Whalley, Matt Johnson & Brian MacMillin, 2009.

Adéquation de l'éolienne DARRIEUS par rapport au site (Retrouver Son Nord)

Le choix d'une éolienne horizontale est donc à écarter. Celui d'une éolienne (verticale) hybride couplant une Darrieus H et une Savonius, est imparable parce que permettant de produire sur un an davantage de manière continue à l'inverse d'une éolienne horizontale : plus de 60% du temps.

De plus, comme on le verra plus bas, le couplage asynchrone de ces deux sortes de rotor d'éolienne (Darrieus et Savonius) permet d'avoir un rendement supplémentaire de > 20% ou de 28% (selon l'étude, voir plus bas).

Quant à l'éolienne horizontale, si elle produit certes beaucoup plus, mais elle ne le fait que durant des périodes plus courtes : cela n'assurera donc pas la production plus continue recherchée, sachant qu'un système de production EnR (photovoltaïque + éolien) est donc destiné à être mis en place.

Pour éviter le prélèvement sur le réseau, il est en effet crucial de pouvoir produire le plus possible constamment, l'éolien prenant le relais du photovoltaïque et *vice versa*, en s'aidant pour assurer la transition (lors des épisodes sans vent ni soleil) du stockage intermédiaire via les batteries de deux voitures électriques Nissan Leaf utilisées au repos comme batteries stationnaires.

(Cf. www.retrouversonord.be/mobilite.htm#batteries)

La question est alors de savoir si un tel dispositif sera suffisant pour sinon, ne rien prélever du réseau, du moins, le moins possible fonction de la production combinée éolienne et photovoltaïque.

(Cf. Le projet précis concernant l'utilisation de ce type d'éolienne hybride pour arriver à réchauffer l'eau glycolée de la PAC géothermique de sorte d'en réduire au moins de moitié sa consommation qui représente en fait annuellement plus de la moitié de la production photovoltaïque : www.retrouversonord.be/glycolee.pdf)

Voir aussi cette étude comparée du nombre annuel de jours sans soleil ni vent sur base des statistiques de la station IRM d'Ernage, la plus proche de chez nous qui a pu établir de telles statistiques :

www.retrouversonord.be/jours-probl-vent-soleil-Darrieus+Savonius.pdf

Enjeux d'une combinaison DARRIEUS-SAVONIUS

Plusieurs études confirment la pertinence du couplage Darrieus-Savonius (mise en gras ajoutée) :

1. « Comparée à la VAWT de type Savonius, le type Darrieus [et plus encore le modèle en H] est **plus efficace pour un vent stable**. Pourtant, il arrive souvent qu'il ne puisse pas démarrer tout seul et pose aussi un problème de contrôle en cas d'orage. Pour le problème d'**auto-démarrage**, un hybride de ces deux types d'éoliennes est proposé (Mertens 2006, Axenne 2007, Stankovic 2009). »
(Cf. <https://core.ac.uk/download/pdf/46811636.pdf>)

2. « Bien que les éoliennes à axe vertical (que l'on trouve classées dans la littérature spécialisée sous l'abréviation VAWT, pour Vertical Axis Wind Turbine) soient moins employées que celles à axe horizontal, **leurs qualités n'en sont pas moins nombreuses**.

En ce qui concerne l'éolienne Savonius, c'est sa compacité et son **faible niveau de bruit** qui frappent en premier lieu, et elle offre, à ce double titre, une **grande discrétion** une fois intégrée, et ce, même **en milieu urbain très dense**.

Du point de vue de son fonctionnement, elle [la Savonius] **démarre et entre en rotation**

(et par conséquent en production) **facilement, même sous le coup de faibles vents**.

Cette qualité manque à l'éolienne Darrieus ; c'est pourquoi celle-là est souvent associée à celle-ci dans une éolienne hybride afin **de lui servir de lanceur**. [...]

A ses qualités de base, on a ajouté au rotor Savonius original une forme hélicoïdale afin d'en **optimiser la prise au vent en rendant celle-ci continue**. Et c'est ainsi que l'éolienne Savonius hélicoïdale ainsi obtenue s'est, de nos jours, répandue dans l'architecture contemporaine. »

(Source : <https://enerlice.fr/2017/06/24/savoir-leolienne-savonius/>)

3. *Étude numérique d'une éolienne hybride asynchrone*, Fady Jamati, Université de Montréal (Cf. https://publications.polymtl.ca/607/1/2011_FadyJamati.pdf)

« RÉSUMÉ » :

« Des turbines de formes différentes fonctionnent optimalement à des vitesses de rotations différentes.

Par exemple, une turbine de type Savonius fonctionne optimalement quand elle tourne à peu près

à la même vitesse que le vent qui l'entraîne, alors qu'une turbine de type Darrieus fonctionne optimalement

quand elle tourne, en moyenne, 5 fois plus vite. Si ces deux turbines sont toutes deux simplement fixées à l'axe d'une éolienne et qu'elles tournent donc à la même vitesse angulaire il y aura des interférences entre les deux. La première étant ralentie par la seconde, et la seconde étant accélérée par la première.

L'éolienne hybride asynchrone est une éolienne à axe vertical qui combine deux turbines concentriques qui ont chacune au moins deux pales : une turbine intérieure qui exploite la force de traînée du vent (type Savonius), et une turbine extérieure qui exploite la force de portance du vent (type Darrieus).

Le concept de l'éolienne hybride asynchrone est que chaque turbine tourne à une vitesse angulaire différente de l'autre qui correspond à sa vitesse optimale, c'est-à-dire à la vitesse à laquelle elle a le meilleur rendement. Ceci est rendu possible par l'utilisation du train épicycloïdal [°] qui est l'élément nouveau de la machine. Les différentes turbines ne sont pas directement liées à l'axe d'entraînement du générateur mais elles le sont **par l'intermédiaire d'un train épicycloïdal.**

[°] « Le train épicycloïdal est un dispositif de transmission mécanique. Il a la particularité d'avoir deux degrés de mobilité, comme le différentiel » (Wikipedia)

Chaque turbine est liée à l'engrenage périphérique (l'Anneau) d'un train épicycloïdal et tourne à une vitesse différente de l'autre selon le ratio de distribution des vitesses du train épicycloïdal auquel elle est liée.

L'engrenage central (le Soleil) des trains épicycloïdaux est fixé à l'axe d'entraînement.

Les axes des engrenages intermédiaires (les Planètes) des trains épicycloïdaux sont fixes.

De cette manière, la turbine exploitant la force de portance tourne plus vite que celle exploitant la force de traînée, ce qui permet de réduire les interférences entre les rotors concentriques du modèle hybride Darrieus-Savonius.

La finalité est d'essayer d'exploiter simultanément les forces de portance et de traînée du vent, pour profiter à la fois d'un couple élevé, donc d'une faible vitesse de démarrage, et d'un haut rendement.

La présente étude évalue, par des simulations numériques, les performances de la turbine hybride asynchrone, en comparaison avec l'hybride Darrieus-Savonius conventionnelle.

Nous avons conclu que l'on peut **améliorer le rendement aérodynamique d'une éolienne hybride de 20% avec un fonctionnement asynchrone.** Nous avons aussi conclu qu'il n'y a pas de synergie entre les rotors dans le montage imbriqué, et qu'un montage en étage (un rotor au-dessus de l'autre) est plus avantageux. »

« CONCLUSION »

« [...] De plus, nous avons introduit le concept d'un mode de fonctionnement asynchrone pour des turbines concentriques de différentes formes. Nous avons établi, pour des formes conventionnelles, que ce mode de fonctionnement permet d'augmenter le rendement d'une éolienne hybride de manière significative, plus de 20% considérant un montage imbriqué. Nous concluons que ce gain correspond une réduction presque totale des pertes de couplage, le reste correspondant aux pertes par obstructions qui sont très importantes.

Mais, considérant que les pertes par obstruction sont virtuellement inexistantes dans un montage en étage (quoique les flux verticaux peuvent avoir un impact), nous avons conclu qu'un montage en étage implémentant un mécanisme asynchrone peut fonctionner presque sans pertes causées par obstruction ou par couplage, et ainsi permettre un fonctionnement optimal pour les deux rotors. **De cette manière, une éolienne hybride pourrait fonctionner à haut rendement avec une faible vitesse de démarrage et indépendamment de la direction du vent, ce qui peut être intéressant pour une utilisation urbaine.**

Le couplage avec une Savonius pourrait aussi permettre d'empêcher l'emballement d'une Darrieus, en remplacement d'un système de régulation supplémentaire. »

4. Conception d'un aérogénérateur à axe vertical fabricable par des techniques de prototypage rapide, Mémoire présenté par Marie DONNAY,

Quentin LALLEMAND (printscreen) (Cf. <https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/fr/object/thesis%3A8187>) :

Le problème d'auto-démarrage est courant pour les éoliennes de type Darrieus. En effet, pour de faibles vitesses de rotation, les pales sont en décrochage et les forces de portance sont insuffisantes. Ce sont les forces de traînée qui permettent à l'éolienne de démarrer mais pas d'atteindre des vitesses de rotation suffisamment élevées.

En théorie, si la vitesse de rotation maximisant le couple est atteinte, l'éolienne devrait se stabiliser à un point de fonctionnement donné. Cette vitesse se situe aux environs de 670 RPM (voir figure 5.8)

Deux solutions ont été envisagées pour atteindre cette vitesse:

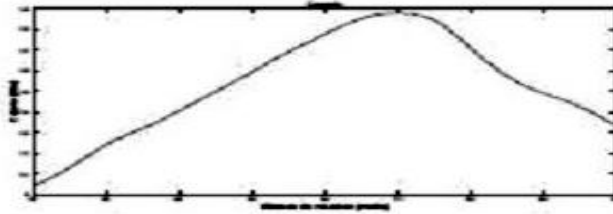


Figure 5.8: Couple théorique en fonction de la vitesse de rotation pour un vent de 10 m/s

1. Rajouter une Savonius afin de constituer une éolienne hybride. La partie Savonius permettrait d'amener le système jusqu'à une vitesse de rotation suffisante à partir de laquelle la Darrieus pourrait produire de la portance et fonctionner correctement.
Le dimensionnement de la Savonius peut être effectué sur base de la vitesse de rotation visée (670 RPM), de la vitesse spécifique théorique (≈ 0.7) et de la vitesse de vent (10 m/s). Le rayon est alors donné par:

$$R = \frac{\lambda V_{\text{en}}}{\omega} \approx 10 \text{ cm} \quad (5.8)$$

Cependant, la hauteur étant limité à 60 cm le couple produit est extrêmement faible et donc insuffisant pour entraîner la machine à la vitesse souhaitée.

2. Utiliser un lanceur manuel. Une corde est enroulée autour de l'axe et ensuite tirée afin de mettre l'éolienne en rotation. L'utilisation d'une poulie a permis d'atteindre des vitesses supérieures à 1000 RPM. Malgré cette vitesse élevée l'éolienne ne parvient pas à maintenir sa vitesse, elle décélère jusqu'aux vitesses de la figure 5.7.

N.B. On n'est pas limité à une hauteur de 60 cm si on dispose alors les rotors en étage au lieu de les imbriquer entre eux comme développé sous les points précédents.

5. EOLIENNE HYBRIDE A AXE VERTICAL DARRIEUS-SAVONIUS HÉLICOÏDAL, DESIGN ET MÉCANISMES (FASCICULE DE BREVET N° de publication : MA 36368 B1 - 29.04.2013) Demandeur et inventeur : AZZIMANI ABDELLAH, 16 BIS AV MOHAMED VI RIAD MEKNES (MA)

« Abrégé : **Éolienne hybride à axe vertical Darrieus-Savonius hélicoïdal**, design et mécanismes.

L'invention concerne l'éolienne à axe vertical hybride (Vertical Axis Wind Turbine Hybride, VAWTH) présenté par la figure 3, elle est composée d'une turbine Darrieus à pâles courbes (5) couplée axialement à une turbine Savonius(4) à deux pâles en forme hélicoïdale.

L'éolienne à axe vertical de type Darrieus est caractérisée par un grand coefficient de puissance, mais également par sa difficulté à l'auto démarrage sous une faible vitesse du vent.

L'idée de combiner les deux turbines la Darrieus et la Savonius en les accouplant au niveau de leurs axes de rotation, permet l'utilisation des avantages la turbine Savonius pour assurer le démarrage aérodynamique de la VAWTH et l'utilisation des performances de la turbine Darrieus dans ses grandes vitesses spécifiques pour la conversion de l'énergie éolienne.

L'invention permet essentiellement de répondre aux exigences en termes de couple de démarrages de la VAWTH et du maintien des performances de la turbine Darrieus. Pour cela il a fallu définir la géométrie et la forme de la turbine Savonius (4) qui est une forme hélicoïdale et de définir également le type d'accouplement (6) entre les deux turbines Savonius et Darrieus qui est un accouplement à roue libre. Les pièces de la VAWTH (figure 3) sont conçues pour être essentiellement fabriquées localement et pour un service simple et à la portée des populations locales.

La simplicité de sa technologie et ses performances en petites puissances permettent son utilisation en agriculture, en télécommunication et pour l'habitat et les sites isolés et ceci pour une assurer en partie leurs autonomies électriques. La figure 3 schématise la VAWTH objet du ce brevet. »

(Cf. <http://patent.ompic.ma/publication-server/html-document?PN=MA36368%20MA%2036368&iDocId=9586>)

6. Invention d'une éolienne hybride verticale optimisant la mise en œuvre mixte de rotors de Savonius et de Darrieus H (Emmanuel Robert et Lucien Porcher)

« L'invention concerne une éolienne hybride à axe vertical comportant deux rotors concentriques et solidaires. Le rotor de type Savonius est constitué de deux étages superposés de dimensions équivalentes et décalés d'un angle de 90°. Chaque étage comporte deux aubes semi cylindriques ayant un recouvrement permettant l'écoulement de l'air entre les aubes. Les pales du rotor de type Darrieus sont verticales et droites, et leur profil est biconvexe. Ces pales sont au nombre de 2 minimum et de 8 maximum. Chaque extrémité de pale est pourvue de 2 ailettes, l'une orientée vers l'intérieur du rotor et l'autre vers l'extérieur.

[...]

De plus, lorsqu'un vent faiblit, le rotor s'arrête naturellement dans la position de moindre couple, ce qui rend plus difficile le redémarrage avec un vent de même direction. Cette forte variation de couple a pour effet secondaire d'induire des phénomènes vibratoires néfastes importants au niveau de la structure. Cet effet est annulé par la superposition de 2 étages de type Savonius, décalés de 90°.

L'addition des couples de ces 2 étages permet l'obtention d'un couple polaire quasi constant quel que soit l'angle rotor/vent. Cela permet d'obtenir un démarrage de l'ensemble quel que soit l'angle rotor/vent, mais aussi et surtout de réduire considérablement les phénomènes vibratoires dus à cette variation du couple polaire au cours de la rotation. »

(cf. <https://patents.google.com/patent/FR2944834A1/fr> & <https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/8f/a4/faa9d12e9daeb9/FR2944834A1.pdf>)

7. Extrait du livre *Étude numérique et expérimentale des rotors hydrauliques hybrides Darrieus Savonius*, Ibrahim Mabrouki (2018)

" Nous confirmons également que l'on peut **améliorer le rendement hydrodynamique d'un rotor hybride de 28 % avec un fonctionnement étagé**. Également, nous avons montré qu'il n'y a pas de synergie entre les rotors dans le montage imbriqué, et qu'un montage en étage (un rotor au-dessus de l'autre) est plus avantageux."

(Cf. <https://www.fr.fnac.be/a13233675/Ibrahim-Mabrouki-Etude-numerique-et-experimentale-des-rotors-hydrauliques-hybrides-Darrieus-Savonius>)

8. Eolienne a axe vertical, convertible, autorégule, combinant une Savonius et une Darrieus, a pale escamotable

« L'invention concerne un dispositif de transformation de l'énergie cinétique véhiculé par un écoulement aérodynamique ou hydrodynamique, en énergie cinétique exploitable, ce dispositif combine les deux configurations classiques Savonius et Darrieus, le dit dispositif est transformable, à géométrie variable, utilisant un aubage escamotable, et combiné à un système mécanique qui assure cette transformation, en passant d'une configuration à une autre selon la vitesse d'écoulement de l'air et les conditions externes, ce qui fait qu'elle exploite les efforts aérodynamiques de type portance et traînée, qui présentent des complémentarités à plusieurs niveaux. »

« Les éoliennes Savonius et Darrieus ont l'avantage de pouvoir exploiter des vents très faibles (à partir de 0,5m/S) que les autres configurations ne peuvent pas exploiter, et leurs domaine en vitesse se complète, une fois l'éolienne Savonius entre dans le domaine d'extinction, la Darrieus reprend le relais et démarre à son tour se qui est présenté sur la figure O.

Donc l'avantage le plus important des turbines combinées (figure P) est au niveau du domaine de fonctionnement en vitesse, qui est plus large par rapport aux autres configurations. »

(Cf. <https://patents.google.com/patent/WO2012177110A2/fr>)

N.B. Ces études & réalisations concrètes confirment donc bien le fait qu'une disposition des rotors en *étage* et *asynchrone* est plus avantageuse : le rotor Savonius permet dans un premier temps de faire démarrer plus rapidement le rotor Darrieus, mais dont ensuite il ne freine pas le mouvement (à cause de sa vitesse de rotation du rotor Savonius qui plafonne bien plus vite que celle du rotor Darrieus) ; de la sorte, cela génère potentiellement un rendement accru de 20% à 28%, suivant les études.

Page explicative faisant partie de l'*Etude de cas : projet éolien*
(Baudouin Labrique- Fontaine-l'Evêque) (www.retrouversonord.be/Helecine.pdf)

Merci de me donner vos commentaires, avis et suggestions !
Baudouin Labrique : 0475/98.4321 – baudouin.labrique@skynet.be
