



*Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres à l'intervention orale de l'auteur.*

## *Les éoliennes à axe vertical*

**Jacky BRESSON**

*Professeur – Université de Perpignan Via Domitia*

Nous allons parler des éoliennes à axe vertical, notamment des éoliennes Savonius et des éoliennes Darrieus. Toutes les éoliennes à axe vertical tournent autour d'un axe qui est perpendiculaire à la direction du vent. Elles doivent donc, quelle que soit cette direction, être plutôt dans des vents tourbillonnants, autrement dit dans des zones plutôt urbaines. L'éolienne Savonius est plutôt une éolienne lente et qui utilise le principe de la traînée différentielle. Quant à l'éolienne à Darrieus qui est une éolienne rapide, elle fonctionnera sur le principe de l'aile portante.

### **1. Eoliennes de type Savonius**

Nous allons parler des éoliennes à traînée différentielle de type Savonius. Autrement dit, ces éoliennes utilisent la traînée différentielle. A quoi correspond ce coefficient de traînée qui s'appelle  $C_x$  ? Si nous déplaçons des objets dans l'air, ce déplacement sera d'autant plus facile que l'objet est aérodynamique. Lorsque nous déplaçons une barre infiniment longue qui a une section circulaire, l'effort accompli est plus grand que si cette même section est plutôt aplatie, ovoïde ou plutôt aplatie comme un frisbee. Le coefficient  $C_x$  sera d'autant plus faible que la forme sera aérodynamique. Dans ce cas présent, pour un cercle, on aura 1,2 ; 0,46 pour une forme ovoïde et 0,2 pour une forme complètement aplatie. Pour fixer les idées, une goutte d'eau a un  $C_x$  de l'ordre de 0,05 et une voiture de collection de style DS aurait un  $C_x$  de 0,31 (figure ci-dessous). Pour gagner des records, il faut que l'objet ou la voiture soit aérodynamique. Nous présentons ici une voiture qui a battu un record de vitesse, qui avait un  $C_x$  de 0,17.



- Goutte d'eau :  $C_x = 0,05$
- Coccinelle (Volkswagen) :  $C_x = 0,46$
- Austin Mini :  $C_x = 0,42$
- Citroën DS :  $C_x = 0,31$
- Porsche 911 Turbo :  $C_x = 0,31$



voiture JCB DIESELMAX  
qui a battu le record du  
monde de vitesse  
 **$C_x=0,174$**

	Barres infiniment longues, de sections différentes									
vent →										
	1,20	0,46	0,2	2	0	2	1,6	2	1,6	

	Demi-cylindre infiniment long		Demi-sphère creuse		Demi-sphère pleine	
vent →						
	2,3	1,20	1,43	0,38	1,17	0,42

On retrouve le même ordre de grandeur pour les objets de sections carrées différentes et si on s'attarde sur le cas de demi-cylindres, à partir d'un tube, si l'on découpe un tube en deux, la partie concave présentée face au vent aura une traînée plus grande - coefficient  $C_x = 2,3$  -, que la partie convexe. De la même façon, si on prend une balle de ping-pong que l'on coupe en deux, la demi-sphère creuse face concave présentée vers l'avant aura un coefficient  $C_x$  de l'ordre de 1,43 et la force convexe plus aérodynamique c'est 0,38. Même chose pour les deux hémisphères pleins.

Ainsi, pour fabriquer une éolienne de type Savonius, il suffit de prendre deux formes complémentaires que l'on associera entre elles et on voit bien que le système va rentrer en rotation puisque la forme supérieure a un  $C_x$  plus faible que la forme inférieure. Ainsi, l'ensemble tournera et on aura fabriqué une éolienne à traînée différentielle de type Savonius.

Ce rotor Savonius a été inventé par l'ingénieur finlandais Sigurd Savonius en 1924. Il est composé à partir de deux demi-tubes reliés entre eux. Ce système peut tourner autour de son axe. Si maintenant on laisse un léger espace entre ces deux demi-tubes, on facilite le passage des filets d'air et on aura un meilleur rendement. L'avantage d'un rotor Savonius est qu'il tourne quelle que soit la direction du vent, bien que pour une direction privilégiée comme on le voit sur la courbe, c'est lorsque que l'une des formes masque l'autre, il y a ce qu'on appelle un couple négatif. L'éolienne aurait tendance à inverser son sens de rotation, ce qui risque de poser un problème en fonction de ce qui est fixé sur son axe bien évidemment.

Pour éviter cela, la façon la plus simple est de superposer deux éoliennes Savonius décalées de  $90^\circ$  ou de vriller le rotor. C'est ce qui se fait habituellement : d'une part c'est plus

esthétique mais c'est surtout pour combattre ce couple négatif et être sûr qu'elle va démarrer quelle que soit la direction du vent.

Sur la figure ci-dessous sont représentés quelques types d'éoliennes : la Savonius classique, la Panémone qui est une Savonius dont les pales peuvent se refermer pour protéger l'éolienne en cas de vents forts, l'éolienne turbine qui utilise un stator à l'extérieur, les pales noires, qui vont dévier le vent vers l'intérieur qu'est le rotor, deux éoliennes hélicoïdales pour les raisons que l'on a évoquées précédemment, pour combattre le couple négatif, et enfin une éolienne qui n'est autre qu'un anémomètre à coupelles qui bien évidemment est une Savonius à traînée différentielle.

Savonius



Panémone



Turbine



Hélicoïdales



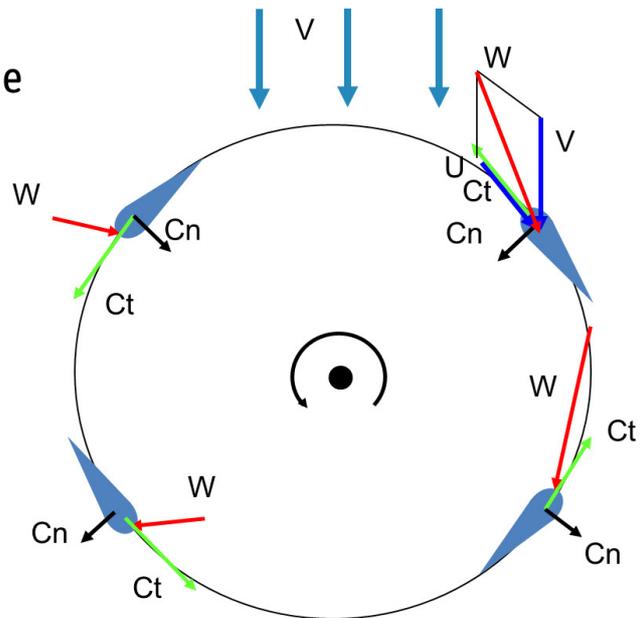
À coupelles  
(anémomètre)

## 2. Eoliennes de type Darrieus

Voyons maintenant le cas de l'éolienne rapide de type Darrieus. Supposons que le vent arrive avec une incidence  $i$  sur cette pale. Les filets d'air passant au-dessus vont accélérer par rapport aux filets d'air passant en dessous créant au-dessus une dépression qui est la force de portance,  $C_z$ . Dans l'axe du vent, on aura la force de traînée  $C_x$ . La pale aura tendance à partir dans la direction de la composante de ces deux forces. Comme elle est

retenue par l'axe, on va décomposer cette même force sur deux axes. Il y a l'axe normal à l'éolienne, avec une composante  $C_n$  que l'on appellera la composante de poussée qui permettra notamment de calculer la résistance du tirant qui relie ce profil à l'axe de rotation. Cette composante  $R$ , on peut la décomposer aussi sur l'axe tangentiel. On a une composante  $C_t$  et bien évidemment, c'est cette composante qui va entraîner le rotor en rotation. En effet, le seul degré de liberté que peut présenter ce profil c'est de tourner autour de son axe de rotation (voir figure ci-dessous).

### Dans le cas où la Darrieus tourne

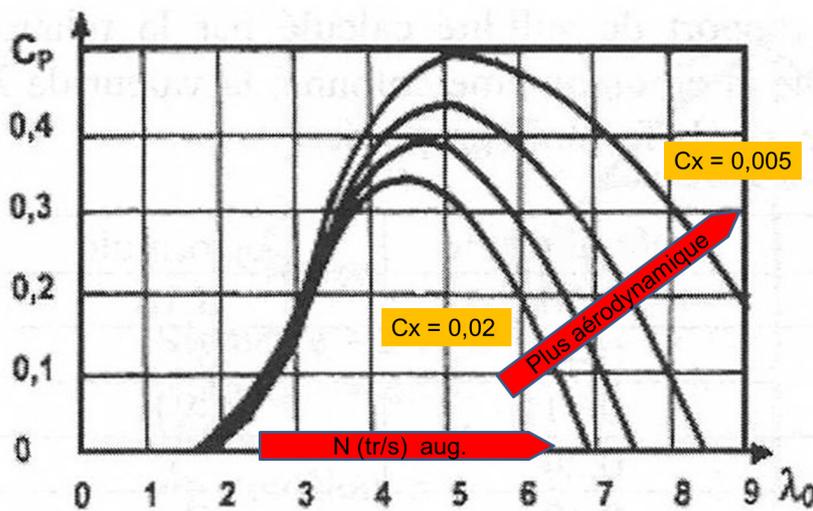


Le problème de la Darrieus, c'est que suivant la position de la pale, elle ne voit pas arriver le vent de la même direction. Alors supposons que la Darrieus tourne, et que le vent arrive d'une direction donnée, elle va créer elle-même son propre vent qui est le vent tangentiel,  $U$ , associé au vent  $V$ , on va obtenir le vent apparent  $W$ , et suivant la position du profil, ce vent  $W$  n'arrivera pas de la même direction. En fait, on dit que le rotor tourne le vent ou enrôle le vent qui lui arrive dessus. À partir de ce vent  $V$ , cela va créer portance et traînée puis après décomposition sur l'axe normal et tangentiel, nous obtiendrons les deux composantes : en vert, la composante tangentielle, et en noir, la composante normale. On peut le faire sur ces quatre positions différentes et on s'aperçoit que les composantes en vert ont tendance à faire tourner le rotor dans la direction indiquée en son centre et les composantes normales associées ont tendance à pousser le rotor dans la direction opposée du vent.

Pour une meilleure compréhension, nous avons utilisé une animation et on peut voir le résultat à droite de cette animation. On peut remarquer que lorsque les pales passent face au vent ou sous le vent, la composante tangentielle augmente. Par contre, lorsque la pale remonte ou descend le vent, on s'aperçoit que cette composante s'annule et même s'inverse. Autrement dit, la pale freine mais la somme de toutes ces forces est quand même dans le

sens de rotation et entraîne l'éolienne en rotation. Quant aux forces normales, la somme de toutes ces forces va faire tomber l'éolienne dans la direction opposée de la direction du vent.

Alors, si on s'intéresse à l'influence du  $C_x$  de la pale par rapport à la puissance que l'on va récupérer, et bien, sur la courbe on voit qu'en abscisse, c'est-à-dire l'axe horizontal, on a  $\lambda_0$  qui n'est autre que le rapport de la vitesse tangentielle sur la vitesse du vent en fonction du coefficient de puissance qui correspond au pourcentage de puissance que l'éolienne va pouvoir extraire du vent. Ainsi une Darrieus peut exploiter entre 30 à 40 ou 50 % de la puissance du vent. En fonction de son coefficient de traînée,  $C_x$ , lorsque le  $C_x$  diminue, autrement dit lorsque la pale devient plus aérodynamique, plus fine, on s'aperçoit qu'elle tourne plus vite. Le maximum se déplace plutôt vers la droite et on obtient un meilleur  $C_p$  (figure ci-dessous).



Intéressons-nous maintenant au nombre de pales ou à la largeur de la pale. On s'aperçoit que lorsque ce produit  $p.c$  diminue, autrement dit lorsqu'il y a moins de pales ou les pales sont moins larges, autrement dit lorsque l'éolienne finalement est plus légère, elle tourne évidemment plus vite. C'est ce qu'on voit sur la figure. Au final, nous avons dit toute à l'heure que la Darrieus ne démarrait pas, pour cela elle a besoin d'une assistance au démarrage. Alors il y a deux principes. Soit on inverse la génératrice qui est sous l'éolienne, on va la mettre en moteur pour lancer l'éolienne et ensuite, il faudra la faire revenir en génératrice pour produire de l'énergie. Soit on utilise des systèmes mécaniques comme un système à pales mobiles ou, la plupart du temps, on l'associe à une éolienne Savonius qui, elle, démarre le système tout seul. Il y a d'autres techniques. On utilise des becquets avant ou arrière, devant le bord d'attaque ou le bord de fuite, ce qui va permettre de démarrer l'éolienne.