

une moyenne des ratios de rouge et de vert pour chaque intervalle et en fin de compte obtenir des mesures continues pour cinq siècles. Les physiciens grecs n'ont pu alors que constater ce que d'autres techniques avaient montré par ailleurs : les émissions de particules n'ont cessé d'augmenter depuis le milieu du XIX^e siècle jusqu'à la fin du XX^e.

Pour vérifier le bien-fondé de la méthode, l'équipe de Ch. Zerefos a eu une idée originale. Elle a sollicité les services du peintre grec Panayiotis Tetsis et lui a demandé de représenter les couchers de soleil de plusieurs jours consécutifs, au mois de juin 2010, sur

l'île d'Hydra, à environ 80 kilomètres au Sud d'Athènes. L'artiste ignorait qu'un nuage de sable du Sahara passait au-dessus de l'île (la trajectoire a été calculée à partir de modèles et d'observations satellitaires).

En mesurant d'une part les ratios de rouge et de vert dans les œuvres obtenues, et d'autre part le contenu de l'atmosphère par des méthodes radiométriques, les chercheurs ont pu corroborer leur hypothèse fondée sur les toiles du XIX^e siècle. Le ciel est bien plus riche en rouge en présence de poussières qu'en leur absence. Certes, le sable n'est pas constitué de cendres volcaniques, mais son effet sur la lumière solaire est similaire.

Le grand nombre de peintures prises en compte, et ce quelle que soit l'école artistique dont pouvait se revendiquer l'artiste, plaide pour la robustesse de la méthode. Elle vient donc s'ajouter à l'arsenal dont les climatologues disposent pour reconstituer les climats du passé. Elle a même un avantage, par exemple, sur l'étude des carottes de glaces : elle est beaucoup plus confortable puisqu'elle consiste à aller au musée ! ■

Ch. Zerefos *et al.*, Further evidence of important environmental information content in red-to-green ratios as depicted in paintings by great masters, *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 14, pp. 2987-3015, 2014.



IDÉES DE PHYSIQUE

Les éoliennes verticales

Contrairement aux éoliennes à hélices classiques, celles dotées d'un axe vertical peuvent tourner quelle que soit la direction du vent.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Nous sommes aujourd'hui familiers des gigantesques éoliennes installées à proximité des autoroutes ou sur les crêtes, avec leurs pales en hélice tournant autour d'un axe horizontal. Nous en oublions que des éoliennes d'un autre type, à axe vertical cette fois, offrent une alternative lorsque la direction du vent est incertaine ou perturbée, comme c'est souvent le cas dans un environnement urbain. Examinons ces éoliennes aux noms exotiques, Darrieus ou Savonius, pour comprendre comment elles fonctionnent et pourquoi, malgré des rendements énergétiques bien inférieurs aux éoliennes classiques, elles suscitent un intérêt constant.

En ralentissant le vent, une éolienne transforme l'énergie cinétique de ce der-

nier en énergie électrique. Dans le modèle le plus répandu, le dispositif mécanique qui entraîne le générateur électrique est une hélice fixée sur un rotor horizontal, placé en hauteur pour bénéficier de vents plus forts et plus réguliers qu'au niveau du sol.

Ces dispositifs récupèrent près de 50 pour cent de l'énergie du vent qui les traverse. Une valeur proche de l'optimum théorique de 60 pour cent, qui est le fruit d'un compromis. En effet, pour récupérer un maximum de puissance, il faut ralentir fortement le vent, mais pas trop car le débit d'air et, partant, la puissance disponible diminuent aussi.

Les éoliennes à hélice constituent l'essentiel du parc éolien de production d'électricité, notamment pour les éoliennes de grande puissance, dans la gamme du mégawatt. Leur usage n'est toutefois pas

adapté à toutes les situations. L'entretien de la machinerie, en hauteur, est délicat. Elles doivent être orientées face au vent, à l'aide d'un moteur, et on préfère ne pas changer leur orientation trop souvent ; ainsi, en présence d'un vent de direction variable, on choisit d'orienter selon différentes directions les éoliennes d'un même parc, quitte à stopper les éoliennes mal orientées.

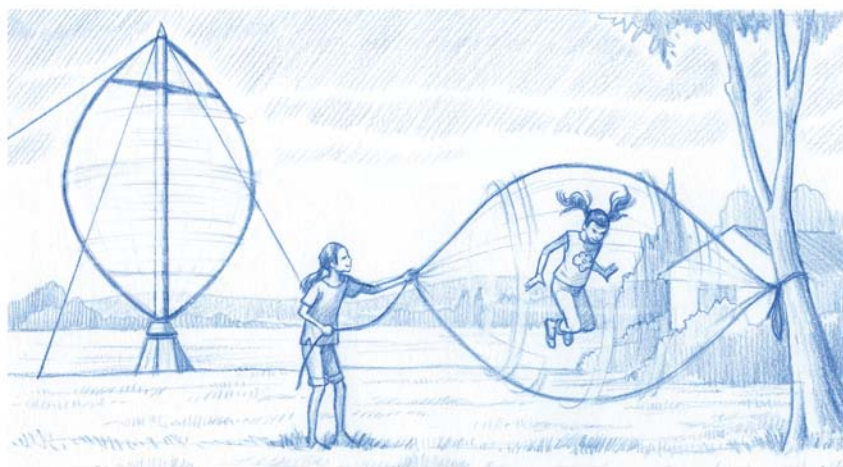
Inventées vers 1930

Les éoliennes à axe vertical, brevetées l'une en 1927 par l'ingénieur et académicien français Georges Darrieus et l'autre en 1929 par l'ingénieur finlandais Sigurd Savonius, ne présentent pas ces inconvénients.

L'éolienne Savonius est la plus simple à comprendre. Le dispositif est formé de deux godets cylindriques légèrement désaxés (voir la figure 3). Le vent pousse au creux du premier godet en s'y engouffrant et poursuit sa course dans le second godet qu'il pousse également avant d'en sortir. Puisque les godets sont décalés, le vent peut toujours s'y engouffrer et provoquer la mise en rotation, quelle que soit l'orientation du dispositif. C'est sur ce principe que fonctionnent les anémomètres ou les ventilateurs Flettner installés sur le toit de certains véhicules.

Jouant exclusivement sur une force de traînée, l'éolienne Savonius a l'avantage d'engendrer un fort couple et de vite démarrer, même avec un vent faible. Le rendement, de l'ordre de dix pour cent, est toutefois très mauvais.

Pour obtenir de meilleurs rendements, mieux vaut faire appel à des forces de portance



1. UNE ÉOLIENNE DARRIEUS utilise des pales dont la section transversale dessine une aile d'avion et qui ont la forme d'une troposkine – la courbe adoptée par une corde souple en rotation rapide. Cette forme réduit au maximum les contraintes mécaniques qui s'exercent sur la pale.