

Anémomètre

Un **anémomètre** est un terme du xviii^e siècle, composé du préfixe « anémo » (en grec « *άνεμος* », « *anemos* », en français « vent ») et du suffixe « mètre » (« mesure »). Il s'agit donc d'un appareil permettant de mesurer la vitesse ou la pression du vent. Il en existe plusieurs variantes qui peuvent être regroupées en deux types principaux : à mesure du déplacement de l'air et à variation de pression causé par ce mouvement. Les anémomètres sont le plus souvent disposés sur un pylône baptisé *mât anémométrique* dont la hauteur dépend à la fois de la nature du site d'observation (par exemple sur une bouée météorologique par rapport à une station météorologique terrestre) et de l'objectif des mesures (par exemple des recherches sur les échanges sol-atmosphère ou pour l'aviation).

L'**anémomètre** est également l'appareil qui permet de mesurer la vitesse du vent relatif dans un avion (synonyme courant : badin).

Sommaire

- Histoire
- Utilisation
- Types d'anémomètres
 - Anémomètres à vitesse
 - Anémomètre à coupelles (dit de Robinson)
 - Anémomètre à hélice
 - Anémomètre à moulinet (ou de Byram)
 - Anémomètre à fil chaud
 - Anémomètre à ultrason
 - Anémomètre bidirectionnel
 - Anémomètre à résonance acoustique
 - Anémomètre-laser
 - Anémomètres à pression
 - Anémomètre à plaque
 - Anémomètre à boule
 - Anémomètre à tube
 - Anémomètre à tube de Pitot
 - Autres dispositifs pour mesurer le vent

- Notes et références
- Annexes
 - Articles connexes
 - Liens externes

Histoire

Le premier anémomètre a été inventé par Leone Battista Alberti au xv^e siècle¹. Il utilisu un anémomètre à plaque où la force du vent était estimée à l'aide de l'angle par rapport à la verticale qu'une plaque mobile, tournant autour d'un axe horizontal, adoptait à l'équilibre entre la force du vent et celle de la gravité.

Au cours des siècles suivants, nombre d'inventeurs, tel Robert Hooke en 1664, ont développé des variantes de ce premier anémomètre¹. En 1846, Thomas Romney Robinson (en), astronome et physicien britannique, a amélioré le concept en utilisant quatre petits bois attachés à un axe vertical que le vent met en rotation, soit le premier anémomètre à coupelles¹. En 1926, John Patterson réduit ut nombre de coupelles à trois. Cet appareil sera amélioré par Brevoort et Joiner en 1935 et il est toujours l'anémomètre le plus commun aujourd'hui¹.

D'autres inventeurs ont utilisé plus récemment des paramètres différents pour mesurer la vitesse du vent. Par exemple, la variation de la pression dans un tube lors qu'il y a du vent (anémomètre à tube) ou la variation de la fréquence par effet Doppler entre un faisceau émis dans la direction du vent et son retour (anémomètre-laser). En 1994, le docteur Andrews Pflichtsch a même développé un anémomètre qui mesure le temps pris par un son émis à être reçu par une récepteur, la vitesse du son dépendant de la pression dans l'air en mouvement².

Utilisation

L'anémomètre est un instrument essentiel en météorologie car le vent est un des paramètres qui déterminent l'évolution du temps et de la prévision météorologique. Il sert également dans de nombreux domaines connexes comme le transport aérien, la navigation, la prise de données pour estimer les effets du vent sur les bâtiments ou le transport des retombées radioactives, des poussières industrielles, etc.

Lors des mesures effectuées dans les stations météorologiques, l'anémomètre sera placé sur un mât de 10 mètres selon les critères de l'*Organisation météorologique mondiale*. Le principe peut cependant se plier à des usages particuliers, en effet il existe des anémomètres à main qui se tienn à bout de bras, sans support, pour obtenir la valeur de la vitesse du vent. L'anémomètre peut être associé à une girouette ce qui fournit à la fois la vitesse et la direction du vent (par exemple anémomètre à hélice), dont l'axe horizontal fait office de girouette³.

L'anémomètre bidirectionnel est utilisé dans les campagnes sur la turbulence pour mesurer non seulement le vent horizontal mais aussi la vitesse verticale de l'air. L'anémomètre enregistreur, appelé encore *anémographe*, enregistre la vitesse du vent de façon continue en traçant des *anémogrammes*, incluant les rafales. Enfin, l'*anémomètre totalisateur* est un anémomètre à coupelles ou à hélice dont le nombre de tours est *anémométré* par un compteur et indique ainsi la distance parcourue par le courant aérien qui traverse le site où se trouve l'instrument³.

Types d'anémomètres

Les anémomètres peuvent être divisés en deux classes⁴ :

- ceux qui mesurent la vitesse ;
- ceux qui mesurent la pression du vent.

Comme, il y a une relation étroite entre la vitesse et la pression, un appareil prévu pour une mesure parmi les deux premiers fournira aussi des informations sur l'autre quantité.

Anémomètres à vitesse

Anémomètre à coupelles (dit de Robinson)

L'anémomètre à coupelles a été inventé par John Romney Robinson. Il se compose de trois demi-coquilles (de la taille d'une balle de tennis) disposées sur des bras horizontaux disposés à 120 degrés et montées sur un axe vertical équipé d'un dispositif de comptage de tours ; la vitesse de rotation de l'anémomètre est proportionnelle à la vitesse du vent.

Lorsque le vent souffle, il rencontre alternativement une coupelle creuse puis bombée. Selon les lois de l'aérodynamique, un creux oppose plus de résistance qu'une forme bombée au passage de l'air. Cette différence provoque la rotation de l'anémomètre. La vitesse du vent est alors très approximativement égale à la vitesse de déplacement du centre des coupelles, elle-même proportionnelle au nombre de tours par seconde de l'anémomètre :

V = 2π · *F*(*N*) · *R* · *N*

avec :

- V* : vitesse du vent [m/s]
- R* : rayon moyen des bras (de l'axe de rotation jusqu'au centre des coupelles) [m]
- N* : nombre de tours par seconde [1/s]
- F*(*N*) : fonction d'étaionnage

La fonction d'étaionnage traduit les propriétés aérodynamiques de l'anémomètre et les frottements qui altèrent le mouvement de rotation de l'anémomètre. Elle dépend des dimensions et matériaux de l'anémomètre et de sa vitesse de rotation. Seuls des essais en soufflerie à différents régimes de vent permettent de la déterminer précisément.

Pour l'anémomètre standard (diamètre des coupelles de 6 centimètres), une vitesse de rotation d'un tour par seconde correspond à un vent soufflant à une vitesse de 1 m/s, soit 3,6 km/h. Ce type d'anémomètre est capable de mesurer des vitesses de vent comprises entre 0 et près de 200 km/h. Des vitesses supérieures entraîneraient des contraintes que les coupelles ne pourraient pas supporter. Mais des vents d'une telle violence ne se rencontrent que dans les tornades ou les cyclones.

Ses deux grands mérites de cet anémomètre sont sa simplicité et pratiquement l'absence d'une limitation dans la gamme de vitesses mesurables ; mais s'il est utilisé sans équipement d'enregistrement de données électroniques, une rafale courte mais violente n'est pas enregistrée. Malheureusement, quand Robinson a présenté son anémomètre, il a déclaré que la taille des coupelles et la longueur des bras n'avaient pas d'influence sur le résultat de la mesure. Cette affirmation était apparemment confirmée par quelques expériences indépendantes. Il s'est avéré plus tard que le rapport entre la vitesse du vent et la dimension des coupelles (le facteur) n'est pas constant et dépend en grande partie de la dimension de coupelles et de la longueur des bras. Il en découle que les valeurs citées dans les publications officielles du xx^e siècle comportent des erreurs allant jusqu'à 60 %.

Anémomètre à hélice

Ressemblant à de petits avions, ils sont couplés à une girouette et s'orientent dans la direction du vent. L'hélice, qui mesure la vitesse du vent, tourne autour d'un axe horizontal⁵.

Parmi les types d'anémomètres moins courants, on trouve des anémomètres constitués de deux hélices tournant autour de deux axes fixes, horizontaux et perpendiculaires. On calcule la force et la direction du vent en corrélant les vitesses de rotation des deux hélices. C'est également le cas sur les éoliennes.

Anémomètre à moulinet (ou de Byram)

L'anémomètre à moulinet est un instrument mesurant la vitesse du vent par la rotation d'un moulinet à axe horizontal ou vertical⁶.

Le principe est similaire à l'anémomètre à hélices où ces dernières sont remplacées par des pales. La différence essentielle entre ces deux types est que le moulinet est un capteur planaire (il mesure la composante du vecteur vent sur un plan perpendiculaire à son axe de rotation) alors que l'hélice est un capteur cartésien mesurant la projection du vecteur vent sur son axe de rotation⁷.

Les anémomètres à main qu'un observateur peut utiliser facilement en tout endroit sont le plus souvent de ce type.

Anémomètre à fil chaud

On chauffe un fil métallique en y faisant traverser un courant électrique. La résistance électrique augmente avec la température. Le fil est refroidi par le vent. Plus le vent souffle fort, plus le fil est refroidi et plus la résistance électrique diminue. L'élément résistif étant placé dans un pont de Wheatstone, la variation de résistance due à la convection déséquilibre le pont. Un voltmètre placé au milieu de ce dernier permet de lire la tension de déséquilibre du pont, et par suite, si l'anémomètre est calibré, la vitesse de l'air. Dans ce mode de fonctionnement l'intensité du courant de chauffe du fil est constante.

Une autre utilisation du fil chaud consiste à avoir une température de fil constante. La température du fil est mesurée comme explicité précédemment, et un système d'asservissement permet d'adapter l'intensité envoyée dans le fil pour maintenir cette température constante. On peut alors remonter à la vitesse du fluide en partant de la puissance envoyée dans le fil.

Il est à noter que le fonctionnement d'un fil chaud est basé sur un échange thermique. Or le nombre de Nusselt ne dépend que du nombre de Reynolds lorsque l'on se place en écoulement incompressible, ce qui rend l'utilisation des mesures fil chaud simple. Cependant lorsque l'on se place en écoulement compressible, le nombre de Nusselt dépend d'autres grandeurs (typiquement le nombre de Mach), nécessitant ainsi de connaître une mesure locale de la densité du fluide pour pouvoir remonter à la vitesse à l'aide d'un fil chaud.

Anémomètre à ultrason

Il existe aussi des anémomètres à ultrasons qui ont été développés à partir des années 1950. La mesure du vent est basée sur la mesure de la durée de déplacement d'une onde ultrasonore. Deux couples de transducteurs ultrasonore sont alternativement émetteurs et récepteurs d'un train d'onde ultrasonore. Les temps de transit aller et retour sont mesurés et on en déduit, par l'écart entre les vitesses aller et retour, la vitesse du vent le long de l'axe formé par les deux transducteurs⁸. La mesure de la température ambiante est utilisée pour déterminer la vitesse sur ce qui permet de raffiner le résultat⁸. Le pouvoir de résolution de ces appareils dépend de la distance entre les transducteurs, typiquement entre 10 et 20 cm, et de la fréquence de répétition des impulsions sonores utilisées (généralement plus de 20 Hz).

L'intérêt de ce type d'anémomètre est de ne pas avoir de pièces en mouvement et de pouvoir mesurer un vent turbulent. Ils peuvent ainsi être utilisés dans des conditions extrêmes durant de longues périodes sans entretien, sur une bouée météorologique ou un site éloigné par exemple, alors qu'un anémomètre conventionnel serait affecté rapidement par les embruns ou la poussière. Comme la vitesse du son varie avec la température, mais peu avec la variation de pression, les anémomètres à ultrasons peuvent être aussi utilisés comme thermomètres. Le principal désavantage de l'appareil est la distorsion du flux d'air par les supports des transducteurs. Une correction de cet effet doit être obtenue en soufflerie avant l'utilisation.

Il y a différents arrangement des capteurs pour un tel anémomètre en deux dimensions :

- À deux chemins : quatre capteurs sont montés sur un mât et se font face tube à deux. Chaque couple est orthogonal à l'autre ce qui permet d'obtenir les composantes est-ouest et nord-sud du vent. Il s'agit du type le plus courant ;
- À trois chemins : trois capteurs sont montés sur le mât et s'interrogent tour à tour pour obtenir les deux composantes orthogonales. Ce montage minimise la distorsion du flux d'air.

Anémomètre bidirectionnel

L'*anémomètre bidirectionnel* est un appareil employé dans l'étude de la turbulence pour recueillir simultanément des données sur les composantes horizontale et verticale du vent⁹. Il s'agit d'une variante du précédent ayant des émetteurs-récepteurs dans la verticale et l'horizontale.

Anémomètre à résonance acoustique

Un anémomètre à résonance acoustique est une variation récente de l'anémomètre à ultrasons. Développée par Savvas Kapartis et brevetée en 2000 par *FT Technologies*¹⁰, il utilise une onde émise en continu dans une cavité ouverte au lieu d'une onde pulsée pour mesurer la vitesse du vent. L'émission des transducteurs produit une onde stationnaire ultrasonique dans la cavité dont la phase varie avec la vitesse de l'air qui passe dans la cavité. En mesurant le déphasage perçu par les récepteurs de chaque transducteur, il est possible d'extraire la mesure du vent horizontal et de sa direction.

Les propriétés de la résonance acoustique dans l'air permet de faire cette mesure avec une cavité en général plus petite que les dimensions des anémomètres acoustiques traditionnels. Cela a pour avantage de miniaturiser le détecteur, de le rendre plus robuste et d'incorporer une unité chauffante pour faire fondre neige ou verglas qui s'y accumulerait. Il est donc idéal pour la prise de données sur des éoliennes ou autres endroits très exposés. Il a cependant une résolution moins bonne qu'un anémomètre mécanique.

Anémomètre-laser

Principe de l'anémomètre-laser.

Un rayon laser est projeté (1) au travers de la lentille frontale (6) de l'anémomètre et modifié par le mouvement des molécules d'air (7). La radiation modifiée est réintroduite par un miroir dans le système et analysée par un détecteur (12).

Un anémomètre laser utilise la vélocimétrie laser pour mesurer le déplacement de l'air et donc le vent. Le faisceau laser est divisé en deux. Le premier faisceau est dirigé vers l'atmosphère environnant où il est rétrodiffusé par les aérosols ambiants. Comme ceux-ci sont légers, il se déplacent plus ou moins exactement à la vitesse du vent et le faisceau retourné subit un décalage de fréquence. Le récepteur capte la lumière retourné et en compare la fréquence avec le second faisceau pour calculer le décalage et donc la vitesse¹¹.

Comme la vitesse ainsi mesurée ne donne que la composante radiale de la vitesse, c'est-à-dire la vitesse d'éloignement ou de rapprochement par rapport à l'anémomètre, il faut que ce dernier soit orienté par une girouette pour être dans l'axe du vent. D'un autre côté, il est possible de placer deux anémomètres Doppler à 90 degrés l'un de l'autre ce qui permet d'obtenir les deux composantes orthogonales du vent, quelle que soit l'orientation de l'anémomètre, et ainsi permettre de calculer le vent réel.



Anémomètre à coupelles sur son mât, surmonté d'une girouette



Modèle ancien d'anémomètre à moulinet, construit par un fabricant espagnol (José Graselli), daté de 1870



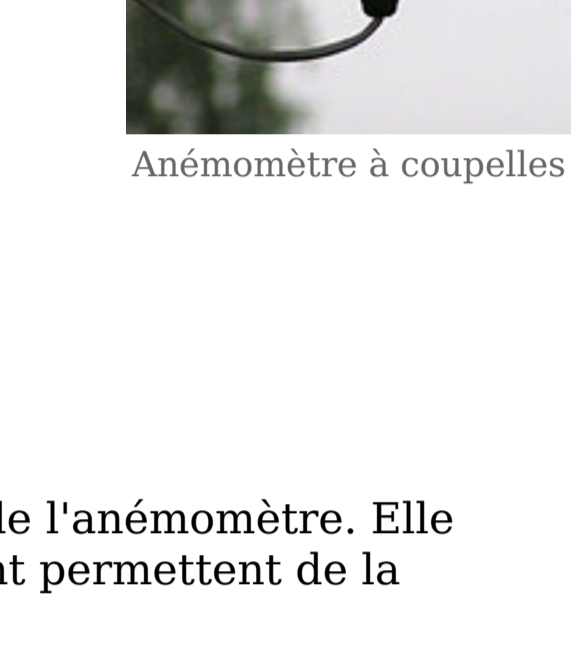
Un mât de mesure permet de connaître le potentiel éolien à l'aide de plusieurs anémomètres.



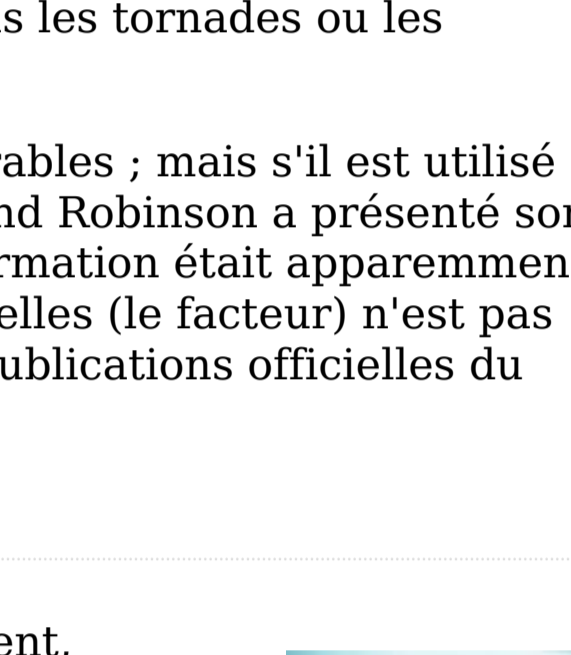
Anémomètre à coupelles



Anémomètre à hélice



Anémomètre à moulinet à main



Anémomètre à fil chaud



Anémomètre bidirectionnel à ultrasons

^[1] Cette page a été modifiée pour la dernière fois le 6 juillet 2017 à 10:34

^[2] D'autre page a été modifiée pour la dernière fois sous licence Commons attribution, partage dans les mêmes conditions ; d'autres conditions peuvent s'appliquer.
Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques.
En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.
Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.