

Mesure et Instrumentation

CHAPITRE : (IV)

Mesure De Vitesse

Présentation

- ❖ Introduction
- ❖ Les différentes unités de vitesse
- ❖ Les types de vitesse
- ❖ Les appareils de mesure de la vitesse

1. Mesure des vitesses de rotation

- Tachymètre sans contact (optique)
- Tachymètre avec contact
- Stroboscope

2. Mesure des déplacements linéaires

- Radar à effet DOPPLER
- Radar LASER

3. Mesure de la vitesse des fluides

- Appareils de mesure dits « traditionnels »
- Appareils de mesure optiques

Introduction

1. La vitesse

La **vitesse** est une grandeur qui mesure le rapport d'une évolution au temps.

En physique : on a, vitesse de sédimentation, vitesse d'une réaction chimique, etc.

En particulier, en cinématique, la vitesse est une grandeur qui mesure pour un mouvement, le rapport de la distance parcourue au temps écoulé.

L'unités de mesure de la vitesse

L'unité internationale de la vitesse cinématique est le mètre par seconde (m s^{-1} ou m/s).

- Les véhicules automobiles: le kilomètre par heure (km h^{-1} ou km/h), le système anglo-saxon utilise le mille par heure (*mile per hour*, mph).
- Dans la marine, on utilise le nœud, qui vaut un mille marin par heure, soit $0,514\ 4\ \text{m/s}$.
- En aviation, on utilise parfois le Mach, Mach 1 étant la vitesse du son (qui varie en fonction de la température).

1) Il faut distinguer deux types de vitesse

- La vitesse moyenne
- la vitesse instantanée

2) On distingue aussi

- Accélération
- Battement par minute
- Vitesse de la lumière
- Vitesse du son
- Vitesse de phase
- Vitesse de groupe
- Vitesse relative
- Vitesses (aérodynamique)

Les appareils de mesure de la vitesse

Les capteurs de vitesse (appareil de mesure) portent également le nom plus industriel de **tachymètres**.

Le type de déplacement est soit **rectiligne**, soit **angulaire** ; la sortie est **analogique** ou **numérique**.

1. Mesure des vitesses de rotation

- Stroboscope
- Tachymètre sans contact
- Tachymètre avec contact

2. Mesure des déplacements linéaires

- Radar à effet DOPPLER
- Radar LASER

3. Mesure de la vitesse des fluides

- **Appareils de mesure dits « traditionnels »**
 - 1/ Le tube de Pitot**
 - 2/ Sonde de pression anémoclinométrique**
- **Les méthodes de mesure optique**
 - 1/ Vélocimétrie laser à franges**
 - 2/ Vélocimétrie par Images de Particules (PIV)**

1. Mesure des vitesses de rotation

- Il existe plusieurs solutions pour mesurer dans l'industrie les vitesses de rotation ou déplacement d'objets. Les deux techniques les plus utilisées sont la **tachymétrie** et les **stroboscopes**. En ce qui concerne les tachymètres, les deux technologies les plus courantes sont : les tachymètres optiques (réflexion) et les tachymètres à contact.

1-1) tachymètre

- Un **tachymètre** est un instrument de mesure permettant de déterminer la vitesse de déplacement d'un objet en mouvement. Le **capteur** peut être **mécanique**, **optique** ou à courants de Foucault, ou bien consister en un système de conversion du temps et de la distance, sur certaines montres.
- un **tachymètre** permettant d'indiquer la vitesse de rotation d'un mobile, comme une poulie, un arbre de ventilation ou de moteur. On le trouve couramment dans l'industrie et les transports, où il permet un contrôle et une surveillance des machines rotatives.
- Le tachymètre peut également être utilisé pour mesurer la distance en chronométrant le parcours sur une certaine distance à vitesse constante ($\text{Distance} = \text{Vitesse} \times \text{Temps}$).

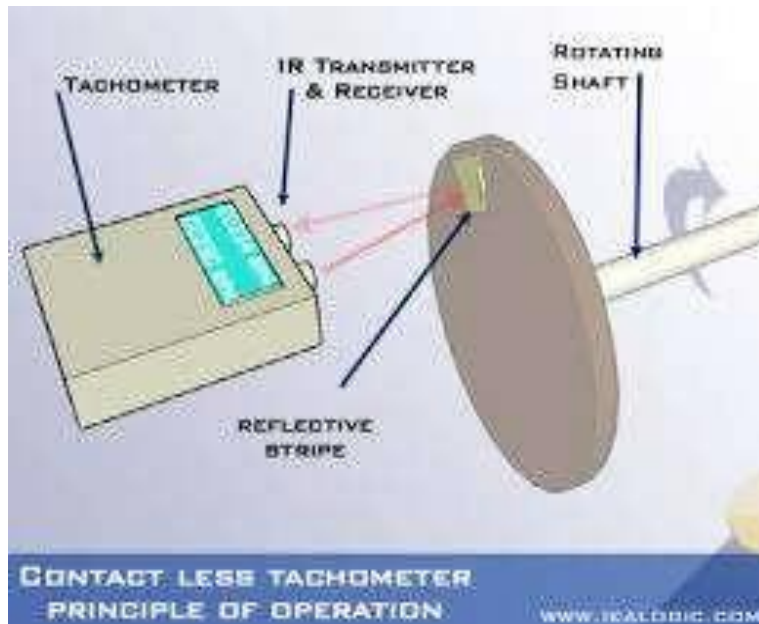


Type de tachymètre:

Il existe deux type de tachymètre:

1) Tachymètre sans contact (optique)

Les tachymètres optiques utilisent le principe de réflexion de la lumière. Ils sont équipés d'une LED qui émet une lumière qui va se réfléchir sur une cible et revient vers l'appareil équipé d'un récepteur. La vitesse est mesurée en comptant la fréquence à laquelle le faisceau est réfléchi. Cette solution est particulièrement utilisée pour les mesures d'objets tournants type axes, moteurs...



Exemple;

le tackymètre **VOLTCRAFT DT-10L**

Appareil portable pour mesurer la vitesse de rotation. Grâce à la visée laser, en pouvant mesurer très précisément et sans contact les objets en rotation, et ce, même à la lumière du jour. Les données mesurées sont affichées en tr/min. L'appareil dispose d'une mémoire pour les valeurs min / max.



VOLTCRAFT DT-10L

2) Tachymètre à contact:

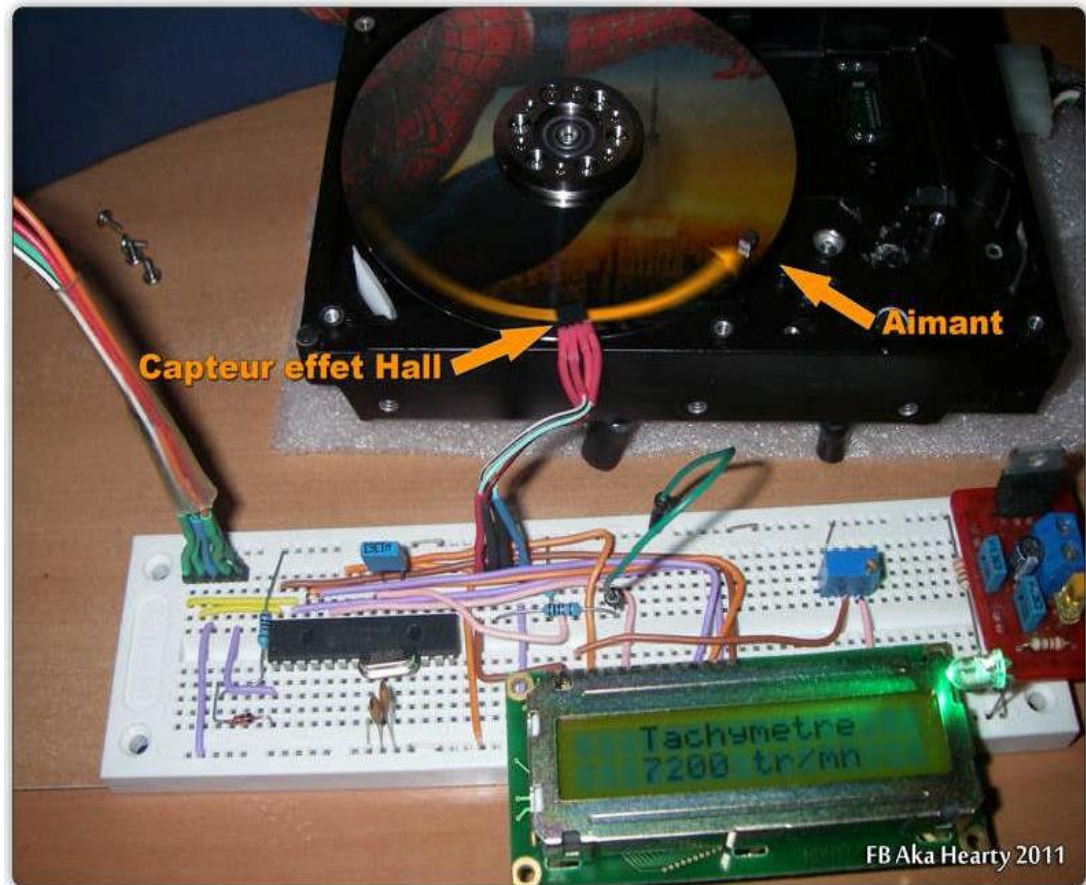
Les tachymètres à contact sont équipés en général d'un embout type roue ou cône. Le tachymètre converti la rotation de la roue en impulsions électriques et celui-ci vient mesurer la fréquence de ces impulsions pour déterminer la vitesse. Ce type de tachymètre est utilisé dans les déplacements linéaires.



Principe de fonctionnement

L'axe d'entrée du tachymètre fait tourner un aimant dans une "cloche" lors de la rotation de cet aimant il se crée un champ magnétique proportionnel à la vitesse de rotation de l'aimant (plus la rotation est rapide, plus le champ est fort) le capteur effet hall reçoit les impulsions et les transmet aux microcontrôleurs pour interpréter la fréquence du champ magnétique en tr/min ou en autre unité de mesure selon le choix de l'utilisateur..

❖ Beaucoup de tachymètres sont équipés aujourd'hui des deux technologies de mesure : **optique** et à **contact**



1-2) Stroboscope

Un **stroboscope** est une source de lumière intermittente. Par un dispositif mécanique ou électronique, on produit une alternance de phases lumineuses (flashes) et de phases obscures.

- Le stroboscope est une source de lumière saccadée, issue d'un dispositif mécanique ou électronique qui fait alterner les phases obscures et les phases lumineuses (flashes)
- La **stroboscopie** permet d'observer des phénomènes périodiques dont la fréquence est trop élevée pour l'œil nu .



Principe de fonctionnement

1- Avec un stroboscope, on visualise uniquement la vitesse. Pour cela, il faut ajuster le clignotement du stroboscope jusqu'à obtenir une image fixe de l'arbre en rotation. La valeur indiquée est alors la fréquence de clignotement de la lampe. Cette fréquence correspond à la vitesse du moteur.

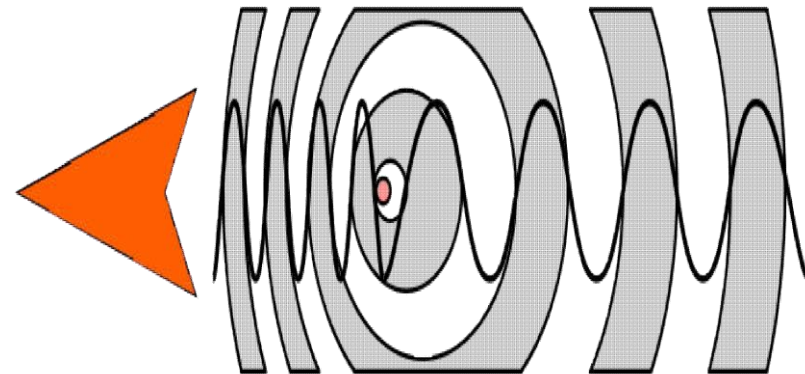
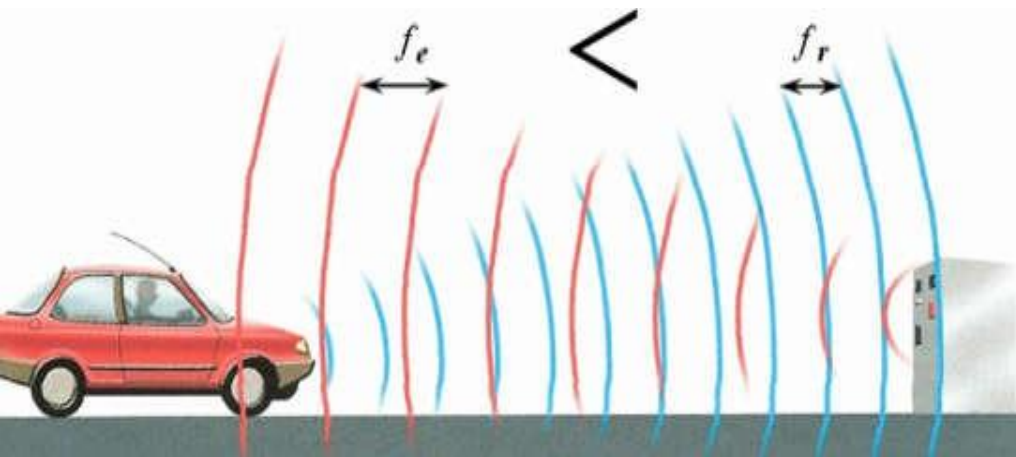
2- ou bien, de mesure consiste à générer des flashes dont la fréquence est égale à la vitesse de rotation du dispositif dont on veut mesurer cette vitesse. Lorsque les deux vitesses sont à égalité parfaite, on a l'impression que le système en rotation est immobile. . Il faut régler la fréquence des flashes sur celle du phénomène qui apparaît alors comme fixe, ou ralenti qui devient observable. C'est l'« effet stroboscopique ».



2. Mesure des déplacements linéaires

L'effet Doppler fut présenté par Christian Doppler en 1842 pour les ondes sonores puis par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848. Il a aujourd'hui de multiples applications dans différents domaines ; la médecine, l'astrophysique, les radars, les sonars, etc.

L'**effet Doppler**, ou **effet Doppler-Fizeau**, désigne le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observé entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps. Si on désigne de façon générale ce phénomène physique sous le nom d'effet Doppler, le terme d'« effet Doppler-Fizeau » est réservé aux ondes électromagnétiques.



Radar à effet DOPPLER

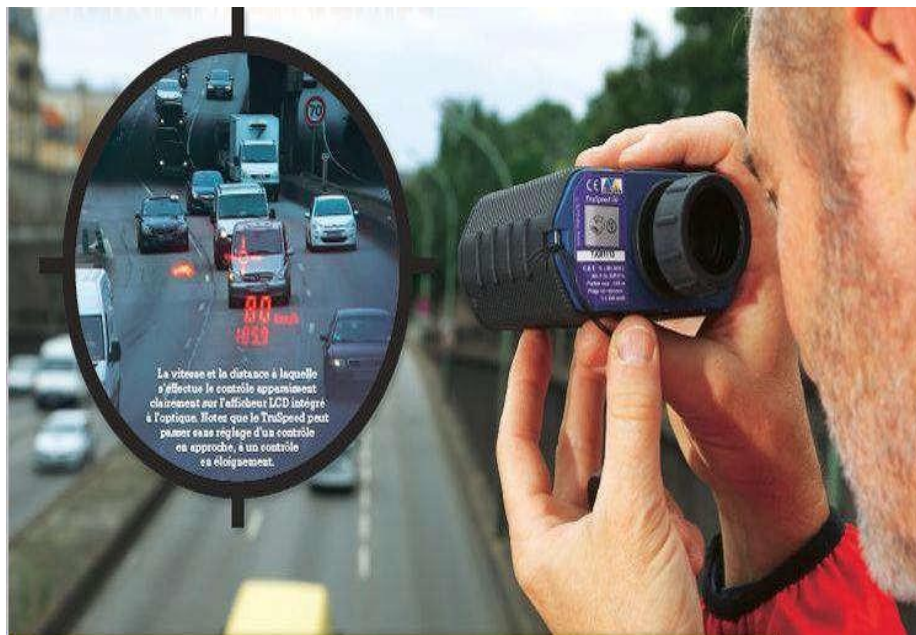
Un **Radar** (**R**adio **D**etection And **R**anging) de contrôle routier est un appareil servant à mesurer la vitesse des véhicules circulant sur la voie publique à l'aide d'ondes électromagnétiques radio. Un radar type Mesta émet une onde continue de fréquence 24,150 GHz qui est réfléchi par la voiture se trouvant dans la direction pointée.

Par effet Doppler, cette onde réfléchi possède une fréquence légèrement différente de celle émise : plus grande fréquence pour les véhicules s'approchant du radar et plus petite pour ceux s'en éloignant.



■ Radar à effet LASER

- Depuis 1997, les radars laser sont de plus en plus répandus. Ils sont très différents des [radars Doppler](#). Ils sont plus petits, facilement transportables même en moto, l'installation est très rapide et leur portée est supérieure à 400 mètres.
- Le principe de la mesure de vitesse grâce à un radar laser est, à la base, une mesure de la distance séparant la cible du cinémomètre. Cette mesure de distance consiste à mesurer le temps mis par une impulsion laser pour atteindre la cible visée et revenir au cinémomètre après réflexion. Un compteur électronique de temps est déclenché lorsque l'impulsion est émise par le laser et arrêté lorsque l'impulsion « retour » est détectée. Connaissant le temps d'aller et retour ainsi que la vitesse de la lumière.



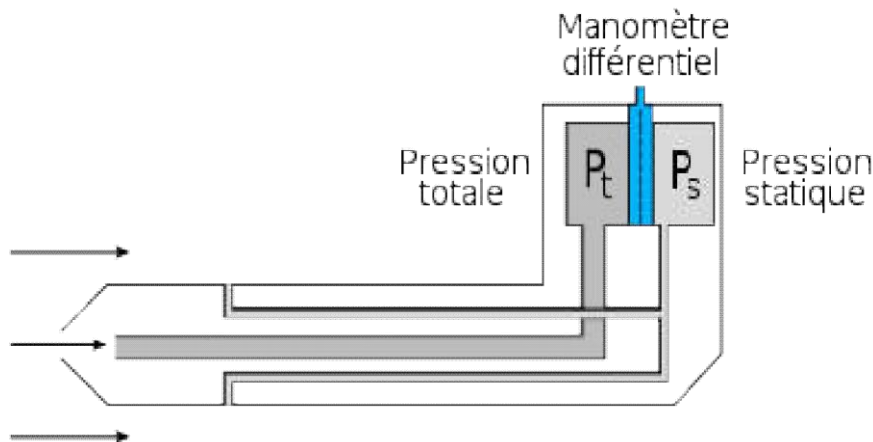
3. Mesure de la vitesse des fluides

La mesure de vitesse de fluide se retrouve aussi bien dans des applications industrielles qu'environnementales. Des instruments sont utilisés pour enregistrer les déplacements de fluide en conditions confinées, dans des conduites, ou en champ ouvert. D'autres instruments sont utilisés pour contrôler que la vitesse de fluide ne dépasse pas, par excès ou par défaut, un seuil critique de sécurité.

3-1) Appareils de mesure dits « traditionnels »

1/ Le tube de Pitot.

Le tube de Pitot portant le nom de son inventeur, [physicien français Henri Pitot](#), 1732, fut le premier dispositif de mesure de la vitesse de fluide. Destiné, à l'origine, à mesurer la vitesse des eaux courantes et des sillages des vaisseaux.



Tube de Pitot

Il est constitué de deux tubes coudés concentriques dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière.

- L'un, placé orthogonalement, à une vitesse relative v égale à la vitesse du fluide et une *pression statique* p_s égale à la pression ambiante.
- L'autre, placé dans le sens de l'écoulement, a une vitesse relative nulle et une *pression totale* p_t , somme de la *pression dynamique* et de la *pression statique*.

La différence entre ces pressions donne la vitesse

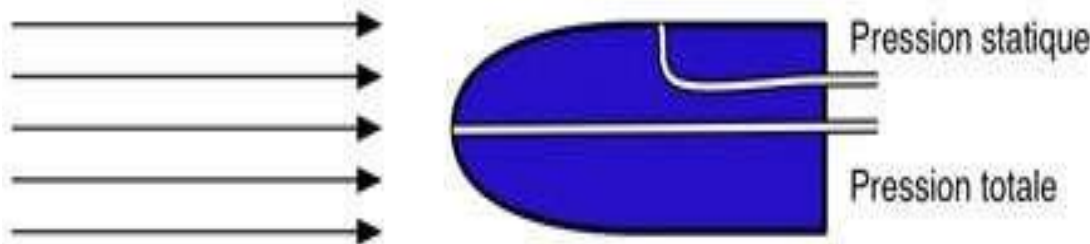
$$\frac{v^2}{2} + \frac{p_s}{\rho} = 0 + \frac{p_t}{\rho}$$
$$v^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$

v = vitesse

ρ = pression dans la conduite (p_s est la pression statique, p_t est la pression totale)

ρ = masse volumique du fluide

$$V(m/s) = \sqrt{\frac{2(P_{total}(Pa) - P_{statique}(Pa))}{\rho(kg/m^3)}}$$



2) Sonde de pression anémoclinométrique

Basé sur le même principe que le tube de Pitot ces sondes permettent la mesure de la vitesse à partir de mesures de pressions. Néanmoins ce dispositif permet non seulement la mesure du module de la vitesse mais aussi de la direction de cette dernière

détermination du vecteur vitesse moyenne (module et angles directeurs), du nombre de Mach, de la pression au sein d'un écoulement



Exemple:

Sonde de pression 100 hPa : Mesure de la vitesse d'écoulement en association avec un tube de Pitot



Les limites des méthodes traditionnelles.

Les différentes méthodes exposées ci-dessus nécessitent toutes l'utilisation d'une sonde afin d'accomplir les mesures. Aussi petites les sondes soient-elles il est clair que leur présence perturbe tout de même l'écoulement. Ces méthodes sont dites << intrusives >>.

De plus, ces méthodes reposent sur les liens entre température, pression et vitesse. En effet la grandeur directement mesurée par ces dispositifs n'est jamais la vitesse à proprement dite. Dès lors que dire lorsque les relations nous permettant d'accéder à la vitesse ne sont plus valables ?

Alors *Vers des méthodes développées de mesure de vitesse*

LES METHODES DE MESURE OPTIQUE

La mesure de la vitesse par méthodes optique; ces méthodes sont non-intrusives et se font par ensemencement de particules au sein du fluide.

1) Vélocimétrie laser à franges.

a) Présentation.

Cette méthode de mesure semble la plus simple à mettre en œuvre. Elle permet de déterminer la vitesse du fluide d'un point de vue eulérien : on détermine la vitesse des particules traversant un petit volume de contrôle définie par une zone d'interférence.

Le fluide est tout d'abord ensemencé de particules légères entraînées par le fluide dans son mouvement. C'est en réalité la vitesse de ces particules que l'on va pouvoir mesurer. On crée un réseau de franges par interférence lumineuse, lorsqu'une particule traverse la zone d'interférence elle scintillera : il ne nous reste plus qu'à placer une caméra dirigée vers la zone de contrôle afin d'accéder à la fréquence de ce scintillement qui nous permettra de remonter à la vitesse instantanée de la particule, et donc du fluide, dans cette zone.

2) Vélocimétrie par Images de Particules (PIV)

a) Principe

Pour l'enregistrement des clichés ou d'une séquence de PIV, l'écoulement est ensémené par des micro-particules servant d'indicateurs. Dans le souci d'avoir des particules entraînées par le mouvement global à accélération non nulle, il faut garantir que leur vitesse s'approche le plus possible de celle du fluide. Le choix sera également conditionné par la faculté qu'a la particule à rediffuser (diffusion de Mie) la lumière du plan laser vers le plan de prise de vue. Des exemples de ces particules peuvent être du polystyrène, du polyamide, des sphères de verre creuses.



méthode de mesure par effet Doppler.

Principe

Le fluide est illuminé par un plan de lumière laser. Les particules en suspensions dans le fluide vont diffuser cette lumière incidente, et, puisqu'elles sont animées d'une vitesse, la fréquence de l'onde diffusée va être modifiée par effet Doppler. L'analyse de cette fréquence permet de remonter à la vitesse des particules dans une direction dépendant de la direction d'observation.

