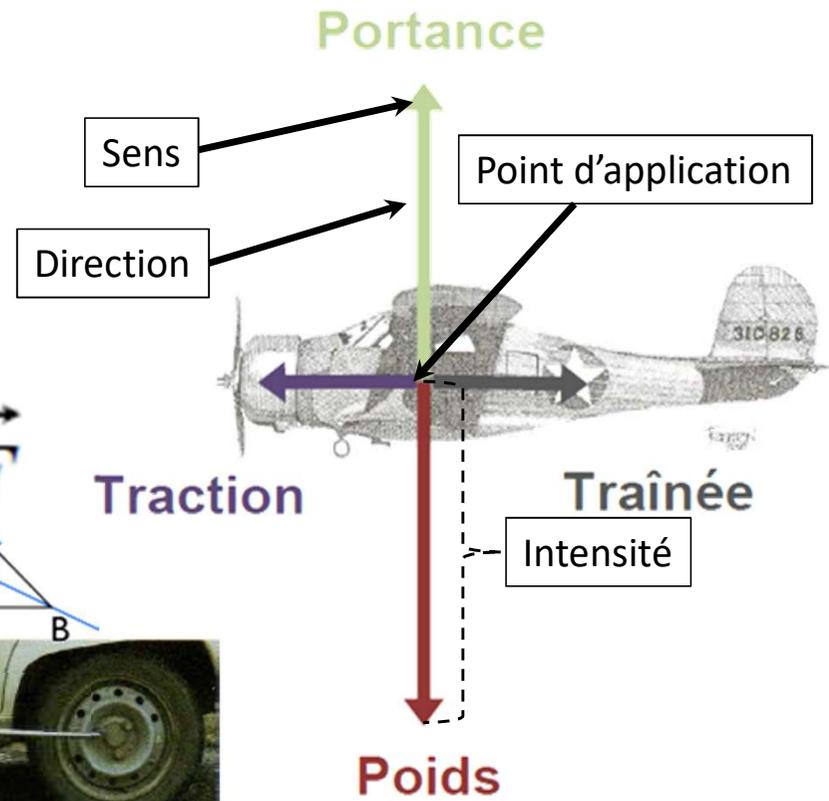
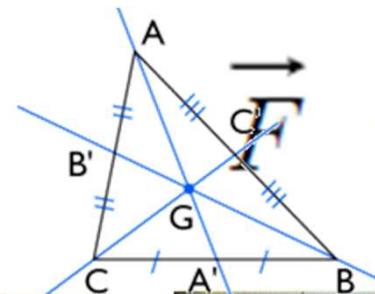
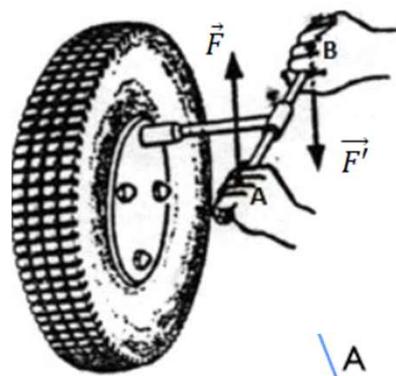
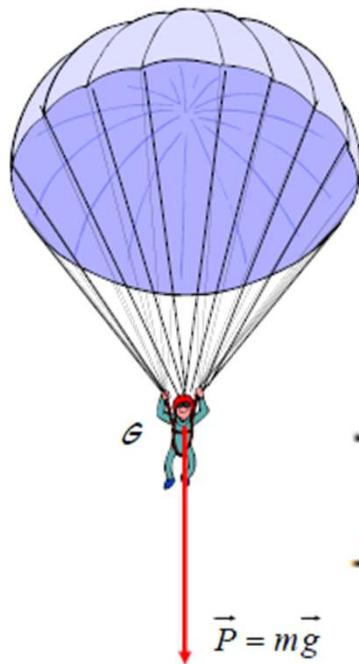
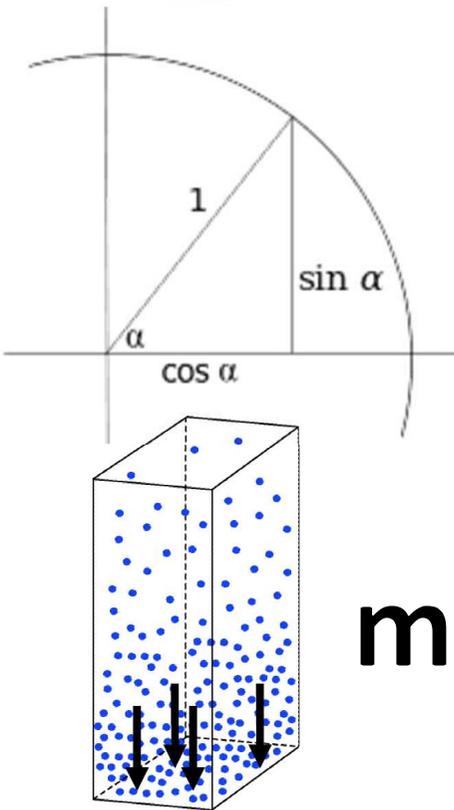




Rappels de Mathématiques et de Physique utiles en aéronautique





Rappels de Mathématiques et de Physique utiles en aéronautique

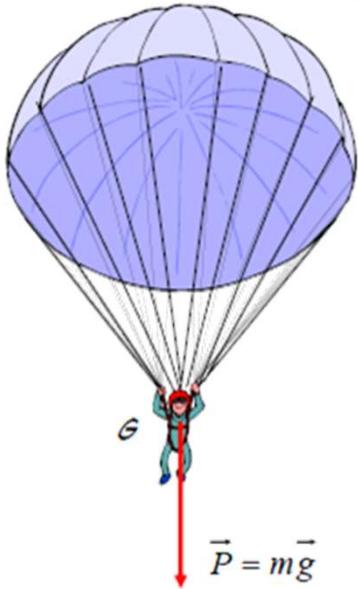
- Masse vs Poids
- Force
- Moment d'une force. Bras de levier
- Couple de force
- Centre de gravité
- Propriétés des gaz
- Pression
- Trigonométrie utilisée en aéronautique. Sinus et Cosinus
- Masse volumique et Densité
- Théorie d'Archimède
- Loi de Bernoulli
- Loi des gaz parfait
- Constantes remarquables.
- Vecteurs et Sommes vectorielles.

Masse vs Poids

- Quand un(e) ami(e) vous dit qu'il (elle) pèse 55 kg de quoi parle t on?
 - D'une Masse ou d'un Poids?

- La masse est la quantité de matière qui forme un objet.

- notée: m
- Unité: le Kilogramme: kg



- Le poids c'est la force exercée par la gravité sur un objet.
 - Unité: le Newton
 - Noté: \vec{P}
 - Toujours \vec{P} dirigée vers le centre de la terre
 - $G = 9,81 \text{ m/s}^2$ sur terre

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Le poids doit être équilibrée par la portance. Sans comprendre la notion de poids on ne peut pas comprendre le vol.

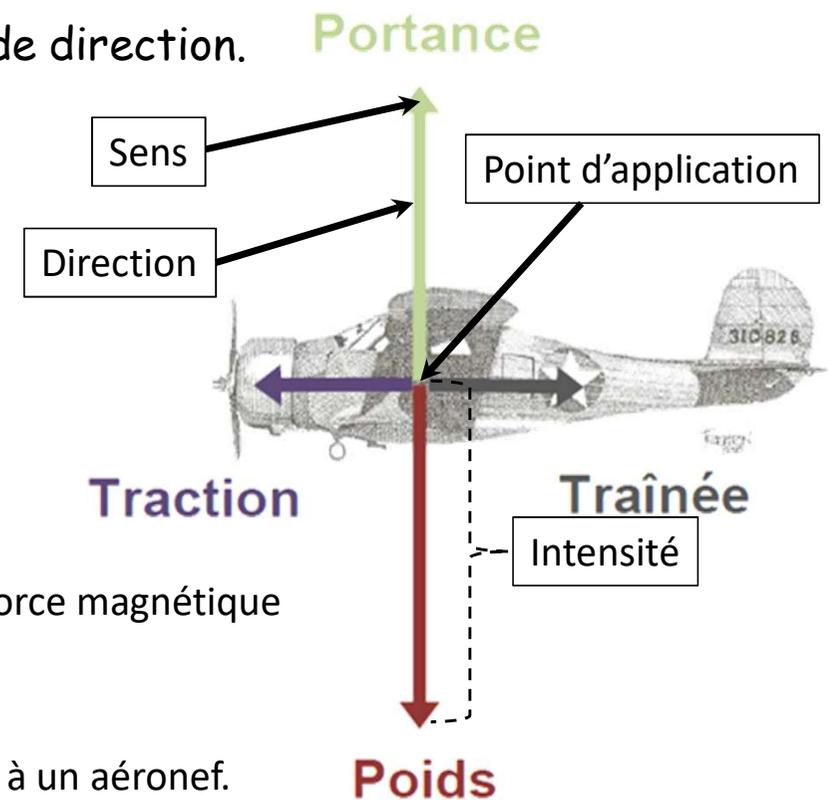
Force: \vec{F}

- La force est une action mécanique extérieure appliquée à un objet, et qui est capable de modifier:
 - Sa forme
 - Son état: Passage de « repos » à « en mouvement »
 - Son mouvement: Accélération, décélération, changement de direction.
- Une force est une grandeur vectorielle
- Une force est caractérisée par 4 paramètres:
 - Son Point d'Application
 - Sa Direction
 - Son Sens
 - Son Intensité

Les forces peuvent être regroupées en trois familles:

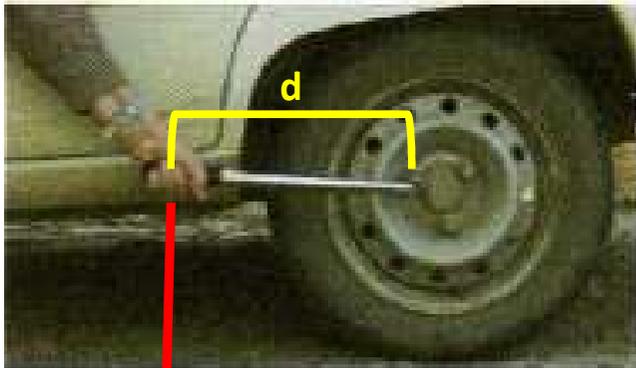
1. les forces de champ : force de gravitation , force électrostatique , force magnétique
2. les forces de contact : force de frottement
3. les forces nucléaires assurant la cohésion du noyau atomique

L'aérodynamique est l'art d'équilibrer les différentes forces qui s'appliquent à un aéronef.

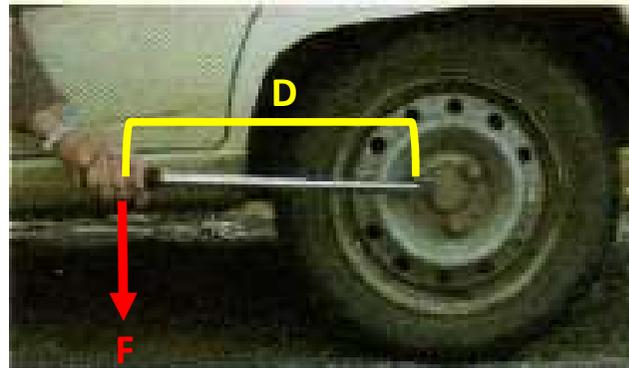


Moment d'une force

- Noté: M
- Il est défini par le produit de l'intensité de la force par la longueur du bras de levier
 - $M = m * d$ ($m =$ masse; $d =$ bras de levier)
- Unité: $\text{kg} * \text{mètre}$ ou $\text{lb} * \text{inch}$



$D > d$



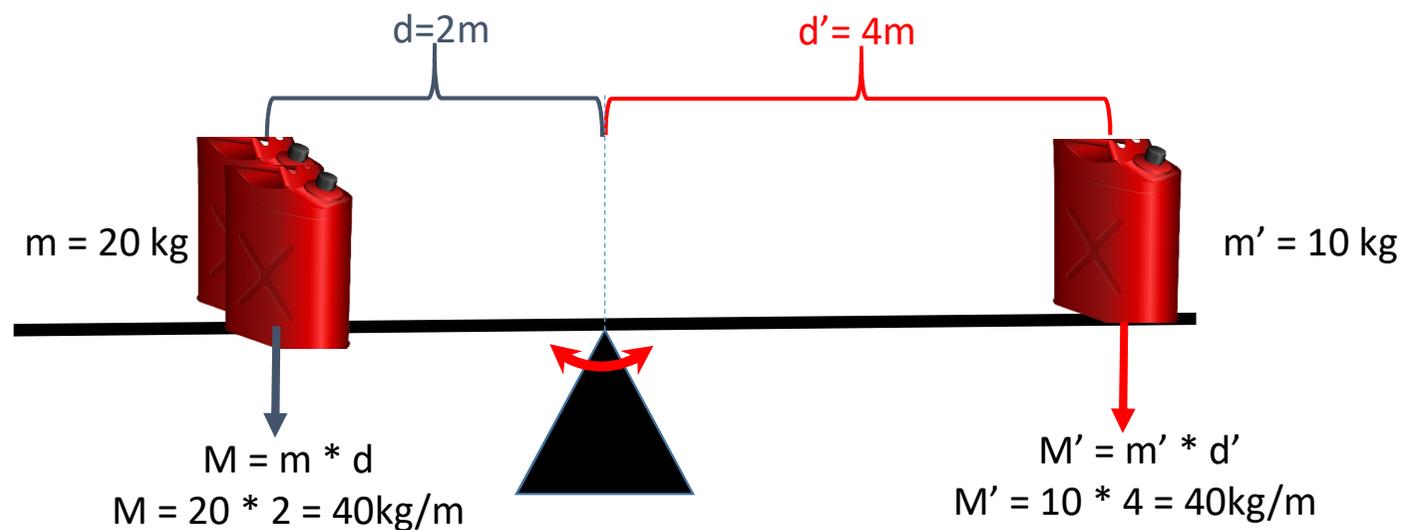
Source: AC-Lyon

Autrement dit, la force nécessaire pour dévisser cet écrou est inversement proportionnelle à la distance du point d'appui à laquelle elle est appliquée: **plus le levier est grand, plus la force requise est faible.**

Notion utile pour comprendre le stress d'une aile d'avion à l'emplanture, l'efficacité des ailerons en bout d'aile ...

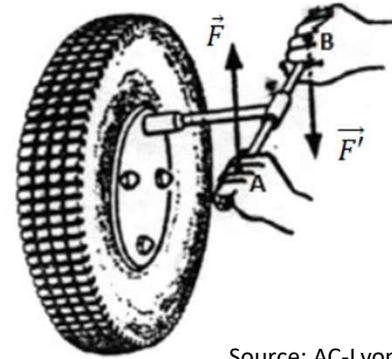
Moment d'une force: Système en équilibre

- Un système mécanique est en équilibre quand **la somme de ces moments est nulle**.
- Dans l'exemple ci-dessous le système est en équilibre si $M = M'$



Notion utile pour comprendre le chargement d'un avion et le déplacement du centre de gravité

Le couple de force



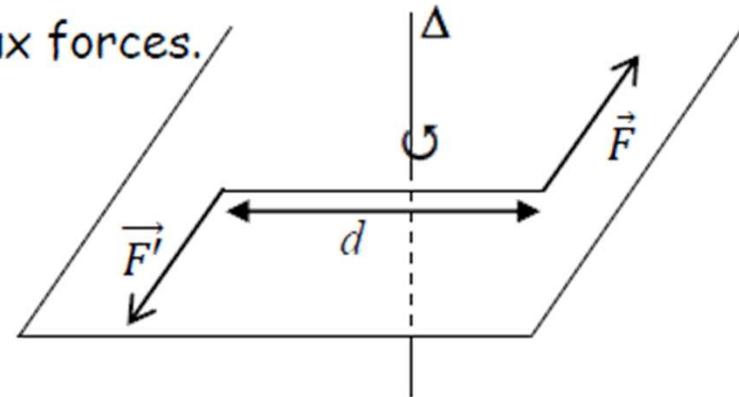
Source: AC-Lyon

Le plan du couple

C'est le plan défini par les droites d'action des deux forces.

Le sens du couple

Un couple produit ou tend à produire une rotation dans un sens donné. On indique par une flèche le sens de rotation associé au couple.



Utile en Aérodynamique et construction des avions et du stress sur la cellule .

Propriétés des gaz

- **Compressibilité :**

Aptitude d'un corps gazeux, à diminuer de volume sous l'action d'une pression.

- **Expansibilité :**

Tendance d'un corps gazeux, à occuper tout l'espace disponible dans un volume donné. Si on relâche la pression exercée sur le piston le gaz reprendra tout le volume disponible soit V .

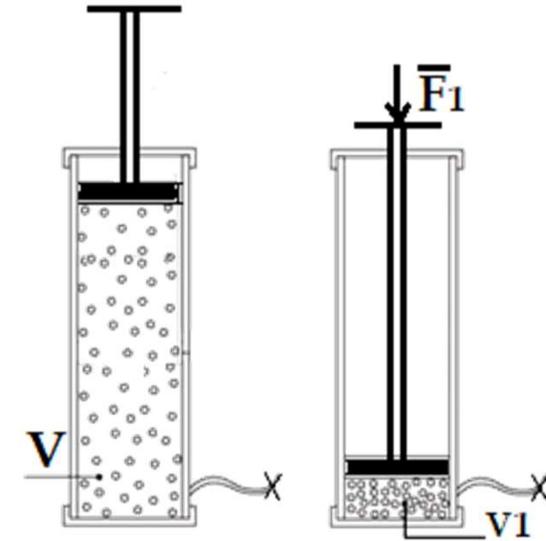
- **Elasticité :**

Propriété que possède des corps gazeux, à reprendre leur forme après avoir été déformés. Les gaz sont **compressibles** et **expansibles**, c'est-à-dire qu'ils ont la caractéristique d'être élastiques. En effet, les gaz reprennent exactement leur volume primitif lorsqu'ils retrouvent les mêmes conditions que celles présentes avant leur compression ou leur détente.

- **Pesanteur**

L'air exerce une pression sur tout ce qu'elle environne mais nous ne la sentons pas. Dans l'atmosphère les couches d'air supérieures, qui reposent sur les couches inférieures, les compriment à cause de leur poids.

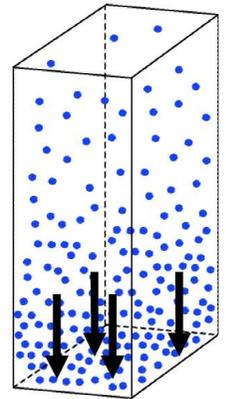
L'air est le milieu dans lequel se déplace un avion. La compréhension des caractéristiques de ce milieu est essentielle.



<https://www.maxicours.com/se/cours/proprietes-des-gaz/>

La pression

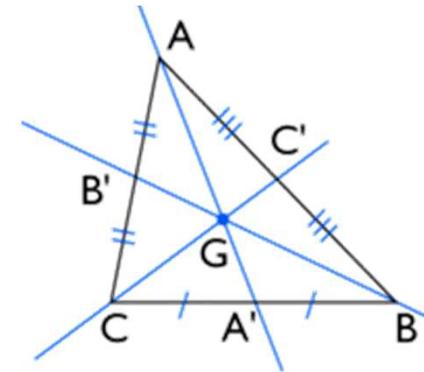
- La pression est une expression qui caractérise une force par unité de surface.
 - La pression est exprimée en pascal.
 - Un pascal est égal à un newton par m^2 .
- On peut obtenir une augmentation de pression par:
 - une action mécanique. Exemple pompe à vélo..
 - une action dynamique. Exemple mise en mouvement d'un avion.
- On va utiliser trois dénominations:
 - la **pression statique**: celle de l'air immobile P_s .
 - la **pression dynamique**: celle de l'air en mouvement
 - $P_d = 1/2 \times r \times V^2$. r est la masse volumique de l'air ($1,225 \text{ kg/m}^3$).
 - la **pression totale** $P_t = P_s + P_d$



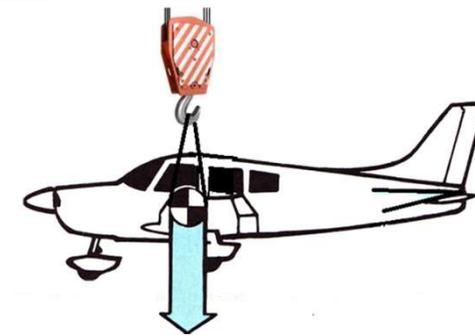
Utile en Aérodynamique et très utile en Météorologie pour comprendre entre autre les vents.

Centre de gravité

- Centre de gravité:
 - Noté: C_g
- Définition:
 - En mathématique: Le centre de gravité (G) du triangle quelconque se trouve à l'intersection des trois médianes car chaque médiane partage un triangle en deux triangles de même aire.
 - En physique: Le **centre de gravité** est le point d'application de la résultante des forces **de gravité** ou **de pesanteur**. Point de concentration des différentes forces qui permet à un corps de se tenir en équilibre.
 - **Pour un avion c'est le point d'application du poids de l'avion. Il peut être représenté comme le point où l'aéronef est en équilibre suspendu à un câble.**
 - Si le **chargement de l'avion évolue** par changement de masse ou de position du chargement (bagages, essence, passagers) le **centre de gravité est modifié**.



<http://phymain.unisciel.fr/acrobati-es-autour-du-centre-de-gravite/>



Très Utile en Aérodynamique pour le chargement de l'avion et garantir qu'il soit pilotable.

Masse volumique et densité

Masse volumique

- La masse volumique d'une substance correspond au rapport de sa masse (m) par son volume (V). Elle se note ρ (lettre grecque qui se prononce rho) et peut être calculée en utilisant la relation suivante:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m en kilogramme (kg)
V en mètre cube (m³)
 ρ en kilogramme par mètre cube (kg.m⁻³)

La densité

La densité d'une substance se note « d » et correspond au rapport de la masse volumique de cette substance par la masse volumique de l'eau pure à une température de 4°C.

La densité peut donc être calculée en utilisant la relation suivante:

$$d \text{ substance} = \frac{\rho \text{ substance}}{\rho \text{ eau}}$$

La masse volumique de l'air (au lieu de l'eau) est choisi comme référence pour les gaz. La masse volumique de l'air varie en fonction de l'altitude et de la température ainsi que de son degré d'humidité.

Les deux masses volumiques doivent être exprimées dans la même unité

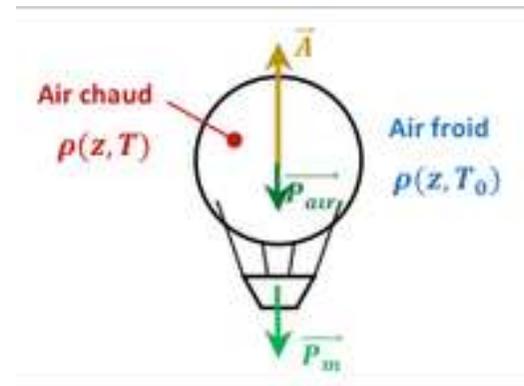
La densité n'a pas d'unité

- La densité est la grandeur qui permet de savoir si une substance flotte ou coule dans un autre liquide. Plus généralement la substance ayant la plus faible densité flotte sur celle qui a la densité la plus élevée.

Très Utile en Aérodynamique pour comprendre la portance.

La poussée d'Archimède

- La **poussée d'Archimède** est une loi physique qui décrit la force dirigée vers le haut (la poussée verticale) que subit tout corps plongé dans un fluide (un liquide ou un gaz), pour peu que ce corps soit soumis à la force de la gravité (qui l'attire quant à elle vers le bas). C'est en effet le principe d'Archimède qui explique que le poids apparent d'un corps plongé dans l'eau soit inférieur au poids réel (qui est le poids de ce corps soumis à la pression exercée sur lui par la planète Terre).
- Les montgolfières exploitent le principe de la poussée d'Archimède, en devenant plus légères que l'air ambiant en chauffant l'air contenu dans l'enveloppe.



Utile en Aérodynamique pour comprendre le vol des plus légers que l'air.

Théorème de Bernoulli

- Le théorème de Bernoulli est un théorème physique qui a été énoncé en 1738 par Daniel Bernoulli. Il parle des mouvements des fluides, d'hydrostatique et de dynamique des fluides. On en retire notamment que la vitesse augmente en cas de baisse de pression sur un fluide homogène et incompressible. Aujourd'hui, ce théorème est fortement utilisé dans l'aérodynamique afin de régler des problèmes de portance.

Le théorème de Bernoulli a permis l'énonciation d'autres lois et effets :

L'effet Venturi

Si un liquide s'écoule dans une canalisation, alors comme il est incompressible, son débit (volume transitant à travers une surface par unité de temps) est constant. Si la canalisation s'élargit, alors la vitesse diminue (puisque le débit est le produit de la vitesse par la section, les deux varient à l'inverse). Le théorème de Bernoulli nous indique alors que la pression augmente. À l'inverse, si la canalisation se rétrécit, le fluide accélère et sa pression diminue. C'est ce que l'on appelle le tube de Venturi.

Le Tube de Pitot

Le tube de Pitot est une sonde très simple mais essentielle à la sécurité de tous les avions puisqu'elle donne une mesure de la vitesse v de l'air par rapport à l'avion.

Utile en Aérodynamique. Par exemple pour comprendre la Portance et la mesure de la vitesse vraie.

Loi des gaz parfait

- Le gaz parfait est un modèle thermodynamique décrivant le comportement des gaz réels à basse pression. Bien entendu, le concept de gaz *parfait* n'existe pas dans le monde réel, mais c'est une excellente approximation dans la plupart des cas. En fait, dans des conditions normales de température et de pression, la majeure partie des gaz usuels ont quasiment les mêmes propriétés qu'un gaz parfait. Sur les plans macroscopiques, on appelle gaz parfait tout gaz vérifiant simultanément :

loi de Boyle-Mariotte

à température constante, le produit de la pression p par le volume V : pV est considéré comme constant lorsque la pression est faible ;

loi d'Avogadro

tous les gaz parfaits ont le même volume molaire dans les mêmes conditions de pression et de température.

loi de Gay-Lussac

à volume constant, la pression d'un gaz parfait est directement proportionnelle à la température absolue (exprimée en kelvins) ;

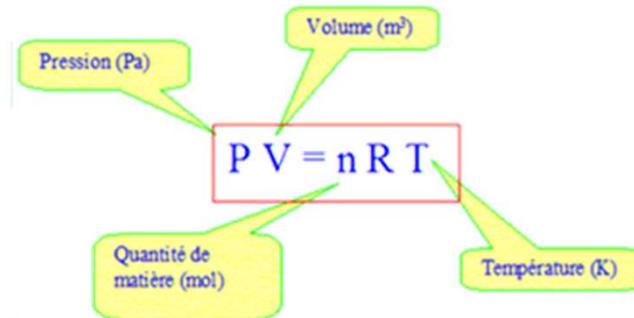
loi de Charles

à pression P constante, le volume d'un gaz parfait est directement proportionnel à la température absolue (exprimée en kelvins) ;

loi de Dalton

la pression totale exercée par un mélange de gaz est égal à la somme des pressions que chaque gaz exercerait s'il était seul.

$$P.V = n.R.T$$



Utile en Aérodynamique. Portance, variation de portance en fonction de l'altitude et de la température, milieu dans lequel évolue l'aéronef.....

Résumé: Constantes remarquables et Unités de mesure

Poids: Newton

Masse: Kg

Moment d'une force: kg * mètre ou lb * inch

Masse volumique (ρ) : kg/m³

Vitesse d'un avion: m/s

Surface de la voilure: m²

G Accélération de la pesanteur: $g=9,81\text{m/s}^2$ sur terre.

Traction ou poussée: Newton

1 Newton = $1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

0°C = 273,15K (° Kelvin)

1013 mb = 760 mmhg = 1013 hPa (Hecto Pascal)

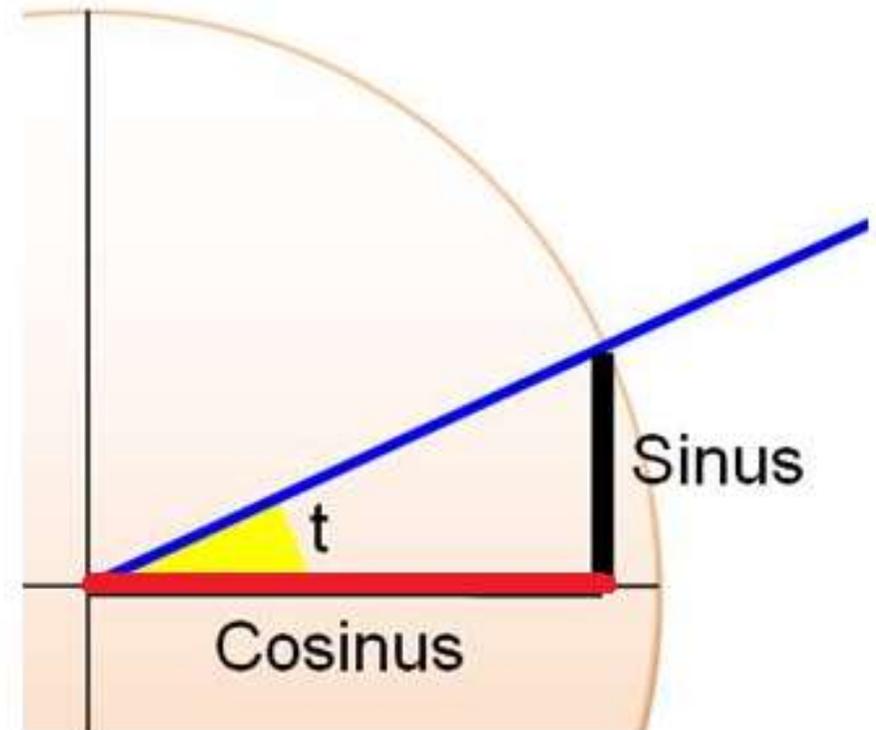
1 Kt = 1852 m

Sinus et Cosinus

Pour l'angle t et pour un cercle de rayon unité:

- Le **cosinus** est à **côté** de l'angle (c'est l'équivalent de **l'abscisse**)
- Le **sinus** est de l'autre côté (c'est l'équivalent de **l'ordonnée**)
- On note déjà que, avec Pythagore:

$$\mathbf{\text{Sinus}^2 + \text{Cosinus}^2 = 1}$$



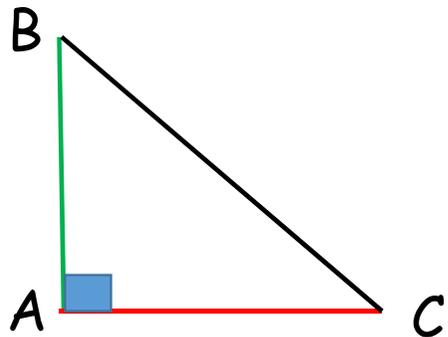
Notion Utile en Navigation. L'aéronef se déplace dans un milieu dynamique.

Sinus d'un triangle rectangle

- **Définition du Sinus.**

- Dans un triangle rectangle :

Sinus d'un angle aigu = $\frac{\text{Longueur du côté OPPOSE}}{\text{Longueur de l'HYPOTHENUSE}}$



➤ $\text{Sin } B = \frac{AC}{BC}$ et $\text{Sin } C = \frac{BA}{BC}$

La loi des sinus sert à calculer la valeur d'un angle ou d'un côté d'un triangle rectangle ou quelconque.

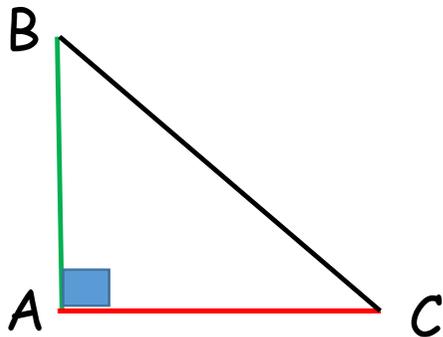
Si je connais la valeur de l'angle B et la longueur de BC (hypoténuse) je peux calculer la valeur de AC.

$$AC = \text{Sin} B * BC$$

Utile en Navigation aérienne. Par exemple en cas de vent de travers pour calculer notre dérive ou la possibilité de se poser.

Cosinus d'un triangle rectangle

- Définition du Cosinus.
 - Dans un triangle rectangle :



Cosinus d'un angle aigu = $\frac{\text{Longueur du côté ADJACENT}}{\text{Longueur de l'HYPOTHENUSE}}$

$$\triangleright \text{Cos } B = \frac{BA}{BC} \quad \text{et} \quad \text{Cos } C = \frac{AC}{BC}$$

La loi des cosinus sert à calculer la valeur d'un angle ou d'un côté d'un triangle rectangle ou quelconque.

Si je connais la valeur de l'angle B et la longueur de BC (hypoténuse) je peux calculer la valeur de BA.

$$BA = \text{Cos } B * BC$$

Utile en Navigation aérienne. Par exemple dans le calcul du vent effectif qui affectera notre vitesse sol donc la durée du vol.

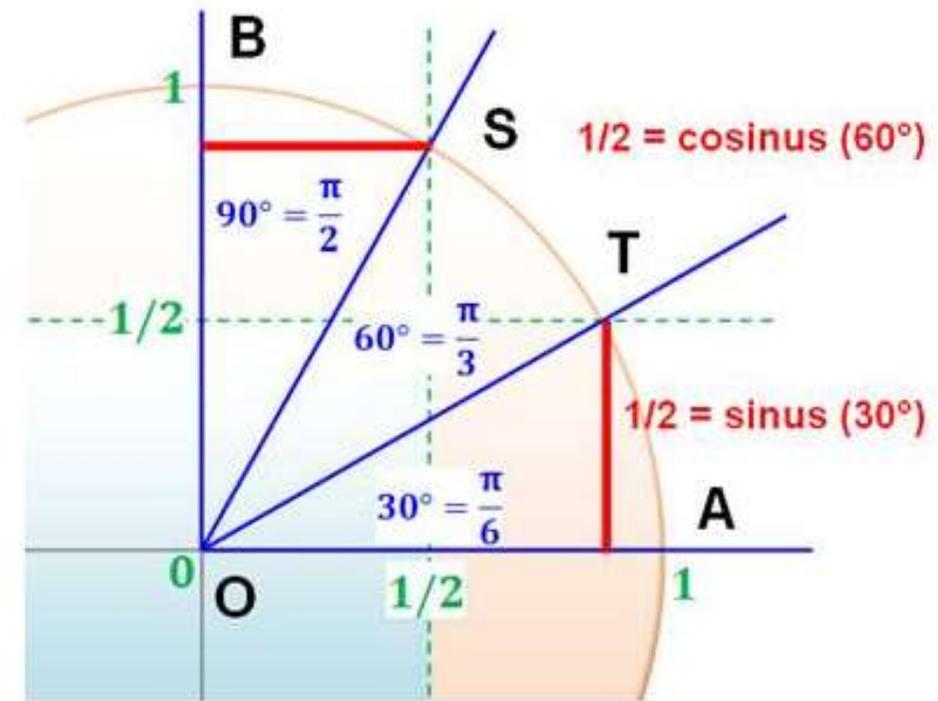
Valeur des Sinus et Cosinus pour certains angles

On rappelle qu'un angle plat mesure 180° ou π radians.

• On remarque que:

- Le Cos d'un angle diminue quand l'angle augmente de 0° à 90°
- Le sinus d'un angle augmente quand l'angle augmente de 0° à 90°

	0°	30°	45°	60°	90°
α	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1



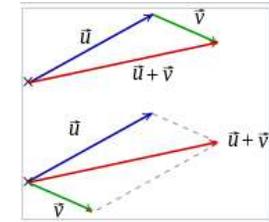
<http://villemin.gerard.free.fr/aMaths/Trigonom/aaaBases/TrigPrem.htm#top>

Sommes vectorielles.

Un **vecteur** est défini par sa **direction**, son **sens** et sa **longueur**.

La **somme vectorielle** de deux vecteurs $\vec{u} = \overrightarrow{AB}$ et $\vec{v} = \overrightarrow{AC}$ est le vecteur $\vec{u} + \vec{v} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AD}$ où D est l'unique point tel que A, B, D et C forment un parallélogramme.

Relation de Chasles.



- **Application en navigation aérienne.** Calcul du Vent traversier et Vent effectif à partir du Vent réel.

Si l'avion suit une route qui n'est ni parallèle ni perpendiculaire au vent :

On décompose le vent réel (le seul dont on connaît la force et la direction) en deux composantes. La valeur du Vent réel étant la somme vectorielles des vecteurs représentant les vents Traversier et Effectif.

Le vent traversier V_t Perpendiculaire à route.

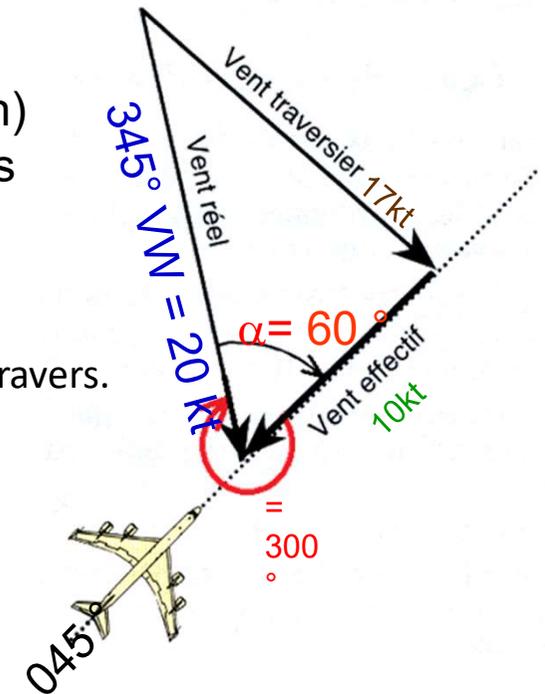
Important pour le calcul de la dérive en vol et la limitation d'atterrissage par vent de travers.

Calcul du **vent traversier** : $V_t = V_w \cdot \sin \alpha = 20 \times 0,87 = \underline{17 \text{ Kt}}$

Le vent effectif V_e Parallèle à la route

Important pour le calcul de la vitesse sol.

Calcul du **vent effectif** : $V_e = V_w \cdot \cos \alpha = 20 \times 0,5 = \underline{10 \text{ Kt}}$

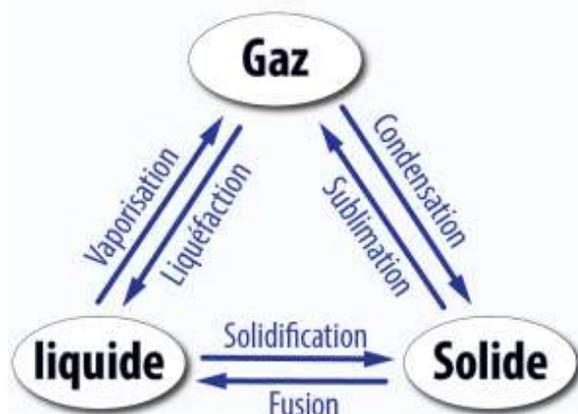


Utile en Navigation aérienne. Par exemple dans le calcul du vent effectif qui affectera notre vitesse sol donc la durée du vol.

Les différents états de la matière

- La matière se présente principalement sous trois états : solide, liquide ou gaz.
- La grande majorité des matériaux peut passer d'un état à l'autre en faisant varier la température ou la pression. Il y a un changement d'état lorsqu'un corps **passé d'un état** (solide, liquide ou gazeux) **à un autre état**. Dans la vie courante, on peut rencontrer l'eau sous l'un de ses trois états : glace, liquide ou vapeur.

Plus la température augmente ou la pression baisse, plus les molécules sont en mouvement et s'éloignent. Plus la température baisse ou la pression augmente, moins les molécules sont agitées et plus elles se resserrent. Ceci explique aussi la dilatation et la contraction de la matière. A un certain niveau d'agitation, les liaisons entre les molécules peuvent se faire ou se défaire, c'est le passage d'un état à un autre.



<https://illustrascience.fr/les-etats-de-la-matiere-explanations/>

Etat	Solide	Liquide	gazeux
Représentation à l'aide du modèle molécule			
Ensemble...	Compact et ordonné	compact et désordonné	dispersé et très désordonné
Molécules	Liées, quasi immobiles et rapprochées	un peu liées, mobiles et très rapprochées	Non liées, éloignées et en mouvement rapide
Possède un...	Volume propre forme propre	Volume propre	

Utile en Météorologie pour comprendre la formation des nuages, et pour les moteurs le givrage du carburateur.

Masse  Le kilogramme = 2,2 lb
 La livre (lb) = 0,453 kg
 L'once (oz) = 0,028 kg
 Le slug (sg) = 1 ft / s² = 14,6 kg

Distance  Le mètre = 3,29 ft
 Le pied (ft) = 0,304 m
 Le pouce (in) = 0,0254 m
 Le mile nautique (Nm) = 1852 m = 6092 ft
 Le mile terrestre (Sm) = 1609 m

Poids  Le Newton
 Le Newton = 1 kg . 1 m/s/s
 La livre (lb) = 4,45 N

Vitesse  Le kilomètre / heure (km/h)
 Le mètre / seconde (m/s)
 Le pied / minute (ft/mn) = 0,005 m/s
 Le knot (Kt) = 1,852 km/h
 Le Statute mile/ heure (MPH) = 1,6 km/h

Pression  Le Pascal (Pa)
 L'hectopascal (hPa) = 100 Pa
 Le millibar (mb) = 1 hPa
 Le pouce de mercure (In Hg)
 1013 hPa = 29,92 In Hg

Conversion des vitesses  1 m/s = 197,36 ft/mn # 200 ft/mn
 1 km/h = 0,54 Kt
 1 Kt # 100 ft/mn # 0,5 m/s

Température  Le degré Celsius (°C)
 0° Kelvin (K°) = - 273° C
 Le degré Farenheit (°F)
 $T^{\circ}C = T^{\circ}K - 273 = (T^{\circ}F - 32) \times 5/9$

Puissance  Le watt (W)
 Le kilowatt (kW) = 1000 W
 Le cheval vapeur (Cv) = 736 W
 Le horse power (HP) = 745 W
 Le livre.pied/minute (ft.lb/mn) = 0,03 HP

Capacité liquide  Le litre (l)
 Le gallon US (US.Gal)
 Le gallon impérial (Imp Gal)
 1 US Gal = 3,785 l ; 1 Imp Gal = 4,546 l

Pour ce module nous avons utilisé de nombreuses sources et documents dont:

http://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~nicolas.marchand/teaching/Meca_IUT_2.pdf

http://www2.ac-lyon.fr/lyc42/lphforez/IMG/pdf/Moment_couple_de_forces.pdf

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1661>

http://cache.media.education.gouv.fr/file/Docs_DAF/57/4/concept_force_484574.pdf

<http://www.maxicours.com/se/fiche/1/5/259451.html/3e>

http://www.ilemaths.net/maths_3_trigo_triangle_rectangle_cours.php

<http://www.phy6.org/stargaze/Ftrig2.htm>

<http://www.emmanuelmorand.net/premiereSTI-0910/Chap04/1sti0910Chap04Activite1.pdf>

https://fr.wikiversity.org/wiki/Trigonometrie/Cosinus_et_sinus_dans_le_cercle_trigonometrique

http://www.physique-chimie-lycee.fr/cours-seconde-chimie/sa08_2-masse-volumique-densite.html

<http://phymain.unisciel.fr/acrobaties-autour-du-centre-de-gravite/>

http://cache.media.education.gouv.fr/file/Docs_DAF/57/4/concept_force_484574.pdf

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1661>

<http://villemin.gerard.free.fr/aMaths/Trigonometrie/aaaBases/TrigPrem.htm#top>

<https://www.maxicours.com/se/cours/proprietes-des-gaz/>

<https://fr.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/temp-kinetic-theory-ideal-gas-law/a/what-is-the-ideal-gas-law>

<https://www.maths-cours.fr/cours/vecteurs>

<https://physique.neveu.fr/2023/09/04/chapitre-le-modele-moleculaire/>

<https://www.maxicours.com/se/cours/les-changements-d-etat-de-la-matiere--college--physique-chimie/>

11/08/2025

NP3A - Rappels de Maths et Physique utiles en aéronautique