

Table des matières

VOLUME 1 GEN Généralités

GEN 1	Grandeurs mesurables	G-2
GEN 2	Vecteurs	G-14
GEN 3	Le système solaire	G-21
GEN 4	L'Univers	G-39
GEN 5	Vers l'infiniment petit	G-55
GEN 6	Le principe de relativité	G-74

CHR Chaleur

CHR 1	Notion de température	C-2
CHR 2	Mesure de la chaleur	C-9
CHR 3	Production de la chaleur	C-16
CHR 4	Transferts de chaleur	C-23
CHR 5	La dilatation des solides	C-33
CHR 6	La dilatation des liquides	C-43
CHR 7	La dilatation des gaz parfaits	C-50
CHR 8	La fusion, la solidification	C-59
CHR 9	La vaporisation, la liquéfaction	C-67
CHR 10	Notions de thermodynamique	C-78

REP	Réponses Quelques réponses numériques	R-1
-----	---	-----

ANN	Annexes Tables, valeurs numériques et éléments biographiques	A-2
-----	--	-----

VOLUME 2 MEC Mécanique

Cinématique

MEC 1	Notions de base et mouvements rectilignes	M-2
MEC 2	Balistique et mouvements circulaires	M-34

Statique

MEC 3	La matière dans tous ses états – Détermination des volumes	M-49
MEC 4	Masse, masse volumique et densité	M-56
MEC 5	Les forces	M-64
MEC 6	La force de pesanteur et la gravitation universelle	M-75
MEC 7	Forces concourantes et équilibre du point matériel	M-86
MEC 8	Le moment d'une force	M-95
MEC 9	Les forces d'appui	M-103
MEC 10	Les forces de frottement	M-112
MEC 11	Equilibre statique d'un corps solide	M-117

Dynamique

MEC 12	Loi fondamentale de la dynamique	M-130
MEC 13	Travail d'une force, énergie mécanique	M-145
MEC 14	Puissance, rendement	M-173
MEC 15	Les machines simples	M-180

Mécanique des fluides

MEC 16	Statique des fluides	M-195
MEC 17	La force d'Archimède	M-214
MEC 18	Dynamique des fluides	M-230

REP	Réponses Quelques réponses numériques.....	R-1
------------	---	-----

ANN	Annexes Tables, valeurs numériques et éléments biographiques	A-2
------------	---	-----

VOLUME 3 ENE Energie

ENE 1	L'énergie à travers les âges	E-2
ENE 2	Les différentes formes de l'énergie.....	E-7
ENE 3	Les sources d'énergie	E-14
ENE 4	Puissance et rendement d'une transformation d'énergie	E-19
ENE 5	L'énergie nucléaire.....	E-25
ENE 6	La gestion de l'énergie par l'Homme.....	E-38

ELE Electricité

ELE 1	Interaction électrique et structure de l'atome	EL-2
ELE 2	Le courant électrique dans les métaux.....	EL-18
ELE 3	Intensité du courant électrique et tension.....	EL-25
ELE 4	Résistance d'un conducteur – La loi d'Ohm.....	EL-35
ELE 5	Energie et puissance électriques – L'effet Joule.....	EL-45
ELE 6	Générateurs et récepteurs – Les lois de Kirchhoff.....	EL-59
ELE 7	Electromagnétisme.....	EL-76
ELE 8	Induction électromagnétique	EL-93
ELE 9	La sécurité en électricité	EL-109

REP	Réponses Quelques réponses numériques.....	R-1
------------	---	-----

ANN	Annexes Tables, valeurs numériques et éléments biographiques	A-2
------------	---	-----

VOLUME 4 OPT Optique

OPT 1	Sources et récepteurs de lumière	O-2
OPT 2	La propagation de la lumière	O-8
OPT 3	Ombres et éclipses.....	O-15
OPT 4	La réflexion de la lumière.....	O-24
OPT 5	La réfraction de la lumière	O-32
OPT 6	La décomposition de la lumière	O-42
OPT 7	Les lentilles.....	O-49

OND Ondes

OND 1	Les ondes mécaniques.....	ON-2
OND 2	Les ondes sonores.....	ON-19
OND 3	Les ondes électromagnétiques	ON-31

REP	Réponses Quelques réponses numériques.....	R-1
------------	---	-----

ANN	Annexes Tables, valeurs numériques et éléments biographiques	A-2
------------	---	-----

MEC 1. Notions de base et mouvements rectilignes

Le rôle de la cinématique est de décrire les mouvements des corps dans l'espace et dans le temps, sans faire intervenir les causes (les forces) qui déterminent ces mouvements.

1 Référentiel et trajectoire

Point matériel

Un corps occupe un certain volume dans l'espace. On modélise cette réalité en supposant que toute la matière constituant ce corps est concentrée en un point: son centre de masse ou centre de gravité ou barycentre. Un corps ainsi idéalisé est un point matériel.

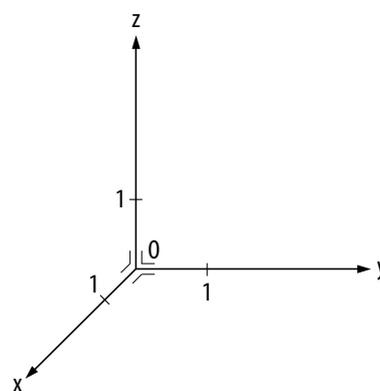
Référentiel

Deux personnes à des endroits différents peuvent avoir des avis différents sur la position du même arbre: la première peut dire que l'arbre se trouve sur sa gauche et la seconde que l'arbre se trouve sur sa droite. Pour définir la position d'un point matériel, il est donc nécessaire de connaître le lieu d'où on l'observe. On appelle cet endroit le *référentiel*.

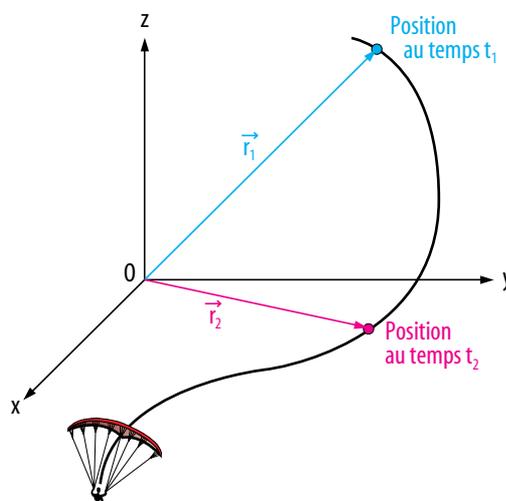
Un référentiel orthonormé est constitué de trois axes gradués et orthogonaux qui ont une origine commune O .

Trajectoire

La trajectoire d'un point matériel est l'ensemble des positions de l'espace occupées successivement par ce point matériel au cours du temps. Si un objet qui se déplace laisse une trace de son passage, la ligne formée par cette trace représente la trajectoire: skis sur la neige, balle mouillée sur le sol, patins sur la glace, ...



Référentiel orthonormé.



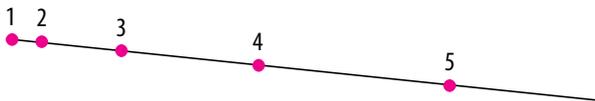
La trajectoire rectiligne

- On frappe une boule de billard (sans lui donner d'effet). Si l'on marque les positions successives (1, 2, 3, ...) de la boule à intervalles de temps réguliers, on obtient un tracé de ce type:



La ligne qui relie les positions successives de la boule est une droite: la trajectoire est rectiligne. De plus, les positions successives de la boule sont régulièrement espacées: la boule suit un mouvement rectiligne uniforme (MRU).

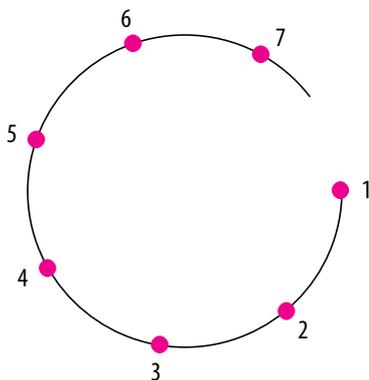
- Si on laisse rouler une boule de billard sur une table inclinée, on obtient un tracé de ce type:



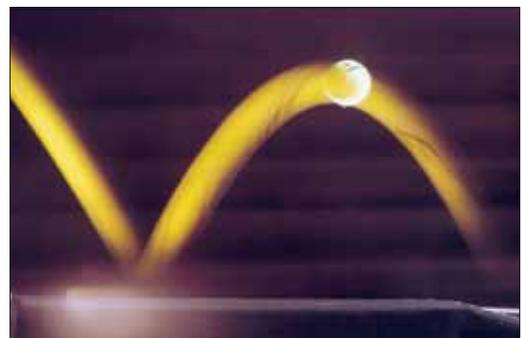
La trajectoire est rectiligne, mais les positions successives sont de plus en plus espacées. La boule suit dans ce cas un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA).

La trajectoire circulaire

L'extrémité de la pale d'un ventilateur de plafond parcourt une trajectoire dont le tracé est de ce type:



La ligne qui relie les positions successives est un cercle: la trajectoire est circulaire. Ce tracé est celui d'un mouvement circulaire uniforme (MCU).



Un autre type de trajectoire: le rebond d'une balle.

E x e r c i c e s • M E C 3

1 Certaines substances peuvent se trouver à l'état de morceaux, de grains, de poudre; c'est le cas du sucre.

Chercher d'autres exemples.

2 Classer les substances suivantes en solides, liquides ou gaz et indiquer quels sont les fluides: sable, huile, sciure de bois, grains de plomb de chasse, neige, oxygène, butane, vin, craie.

3 Que signifie l'expression «faire le vide» dans le langage courant? Dans le langage scientifique?

4 Les affirmations suivantes sont-elles vraies?

- Tous les gaz sont invisibles.
- Tous les liquides s'écoulent.
- Tous les produits inutilisés au laboratoire peuvent être jetés.
- Certains solides sont des fluides.
- Les produits utilisés à la maison ou au jardin ne sont jamais dangereux.

5 Rappeler la relation qui exprime le volume d'un cylindre. Faire un schéma en indiquant par des lettres les grandeurs qui interviennent.

6 **Vrai ou faux?**

- Une bouteille d'un litre peut contenir 150 cm^3 d'eau.
- Une bouteille de contenance 33 cl peut contenir 150 cm^3 d'eau.

7 Observer à la loupe du sucre cristallisé, du sucre glace, du sel, de la farine.

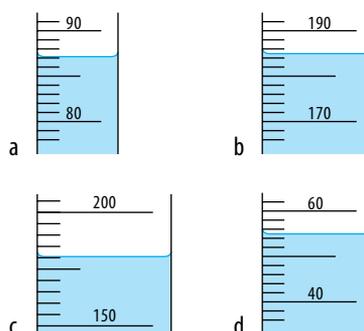
Rappeler la différence entre solide divisé et liquide.

8 Lors d'une crevaisson, savez-vous comment on décèle le trou dans la paroi d'une chambre à air ou d'un ballon?

9 La classification «solide, liquide, gaz», comme toute classification, est imparfaite. En effet, il existe des solides pâteux et des liquides visqueux.

Chercher la signification de ces termes et donner quelques exemples.

10 Pour chaque éprouvette graduée en ml, indiquer la valeur du volume de liquide.



11 On dispose de vingt billes identiques. Quelles sont les méthodes possibles pour déterminer le volume d'une bille?

Faire le schéma des expériences.

12 Trouver une méthode permettant de mesurer le volume d'un solide quelconque n'entrant pas dans l'éprouvette graduée. Par exemple une pierre. Faire un croquis.

13 Quels sont les problèmes qui se posent pour mesurer le volume d'un échantillon de sucre ou de sel, de liège ou de polystyrène en utilisant la méthode «par déplacement de liquide»?

Comment les résoudre?

14 Obturer une seringue remplie d'eau et essayer de comprimer. Recommencer avec la seringue remplie d'air. Quelle différence importante y a-t-il entre l'eau et l'air?

Cette différence existe entre tous les liquides et tous les gaz. Pouvez-vous expliquer cette réponse faite à un automobiliste qui se plaint du mauvais fonctionnement des freins de son véhicule: «il faut purger le circuit de freinage»?

1 La matière de l'Antiquité à nos jours...

Dans l'Antiquité

Les Grecs furent les premiers à élaborer des théories sur la matière. C'est à eux qu'on doit le mot **atome** qui signifie « qu'on ne peut couper ».

Vers le milieu du V^e siècle avant J.-C., le philosophe **Leucippe** puis son disciple **Démocrite** affirmèrent que la matière était faite de très petites particules insécables : les atomes. Cette hypothèse ne pouvait alors être vérifiée. Aucun résultat scientifique ne la confirmant, c'est la théorie selon laquelle la matière était faite à partir de quatre éléments : le feu, l'air, l'eau et la terre, soutenue par un autre philosophe grec, Aristote (384-322 avant J.-C.), qui prévalut jusqu'au XVII^e siècle. Elle constitua d'ailleurs la base de l'alchimie.



Le laboratoire d'un alchimiste.

A l'époque moderne

Il fallut attendre la fin du XVII^e et le XVIII^e siècle et les travaux de l'Irlandais **Boyle** et du Français **Lavoisier** pour revenir à des idées plus justes. Ils affirmèrent que la matière était faite à partir d'un certain nombre de « pierres » de base qu'ils commencèrent à décrire et à reconnaître.

En 1808, l'Anglais **John Dalton** émet la théorie que ces « pierres » de base sont des **atomes** insécables. Il admet qu'un corps simple est formé d'atomes identiques et qu'à chaque corps simple correspond un type d'atome particulier. De plus, il suggère que les atomes peuvent se réunir et donne à ces réunions le nom de **molécules**.

Le début du XX^e siècle voit triompher la théorie particulière de la matière. De nombreuses preuves expérimentales ne permettent plus d'en douter. Les noms de **Jean Perrin**, **Niels Bohr**, **Ernest Rutherford**, et de bien d'autres sont attachés au perfectionnement du modèle de l'atome.



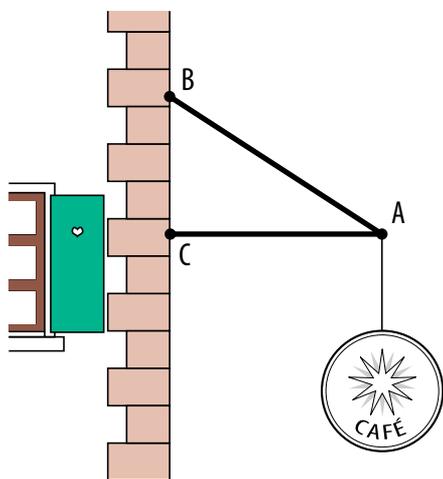
John Dalton, l'un des pionniers de la chimie.

- 7** Une enseigne est fixée par l'intermédiaire de deux barres rigides de masses négligeables à un mur vertical. L'intensité de sa force de pesanteur est égale à 200 N.

Dessiner les forces s'exerçant :

- au point A;
- au point B;
- au point C.

Note: utiliser une échelle faisant correspondre 10 N à 1 mm. Prendre $\overline{AC} = 7$ cm et $\overline{BC} = 4,5$ cm.

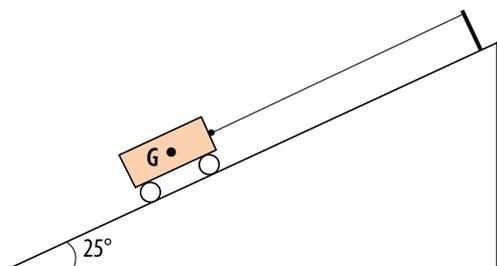


- 8** Un chariot, dont l'intensité de la force de pesanteur est égale à 0,80 N, est posé sur un plan incliné. Un fil l'empêche de descendre le long du plan.

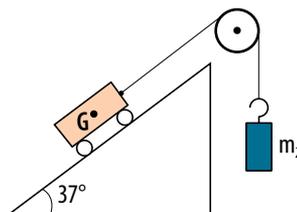
Représenter sur une figure :

- la force de pesanteur de ce chariot;
- la réaction exercée par le plan sur ce chariot;
- la force exercée par le fil, qui empêche ce chariot de rouler le long du plan.

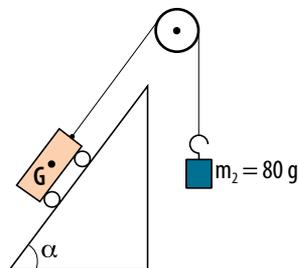
Note: prendre le point G comme point d'application de ces trois forces et choisir une échelle faisant correspondre 0,02 N à 1 mm.



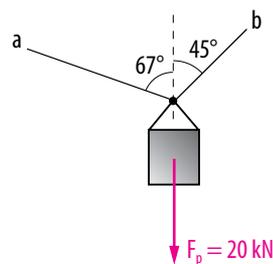
- 9** Calculer la valeur de la masse m_2 pour que le système soit à l'équilibre. La masse du chariot vaut 2 kg.



- 10** Calculer la valeur de l'angle α pour que le chariot soit en équilibre. La masse du chariot vaut 0,1 kg.

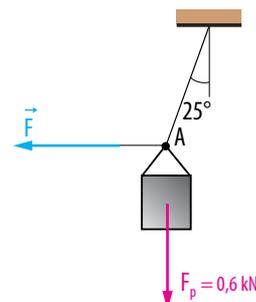


- 11** Pour manoeuvrer les blondins sur un chantier, on utilise deux câbles a et b. Calculer, pour la position définie par la figure, les tensions T_a et T_b dans les câbles.

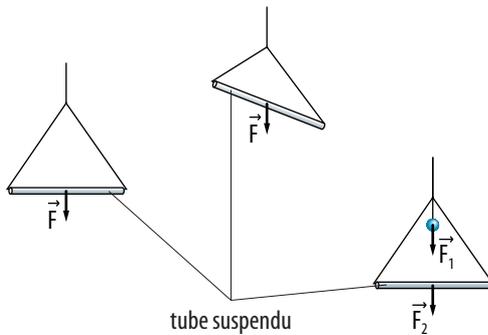


- 12** Pour amener la charge suspendue au câble sur un échafaudage, on tire sur l'attache A avec une force F. Calculer :

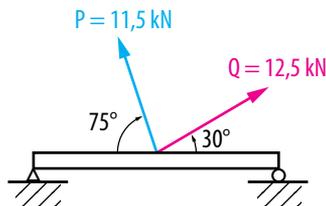
- l'effort F à fournir pour satisfaire l'équilibre dans la position indiquée sur le croquis;
- la tension T dans le câble pour cette position.



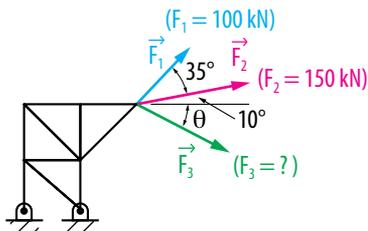
- 13** Analyser les forces dans les configurations suivantes :



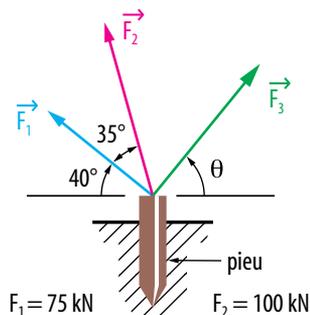
- 14** Deux forces agissent au milieu d'une poutre posée à ses deux extrémités. Déterminer la grandeur et la direction de la résultante (graphiquement et analytiquement).



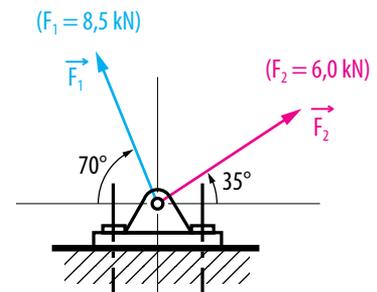
- 15** Trois forces agissent à l'extrémité d'une structure triangulée. La résultante des 3 forces est horizontale, son intensité vaut 320 kN. Déterminer la grandeur et la direction de \vec{F}_3 .



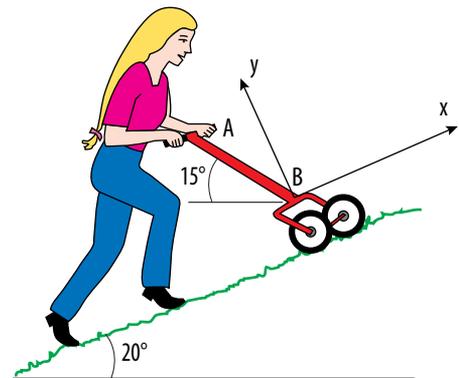
- 16** 3 forces agissent sur un pieu. Si la résultante des 3 forces a une intensité de 300 kN et est dirigée verticalement, déterminer la grandeur et la direction de \vec{F}_3 .



- 17** Déterminer la résultante des 2 forces agissant sur cette pièce mécanique.

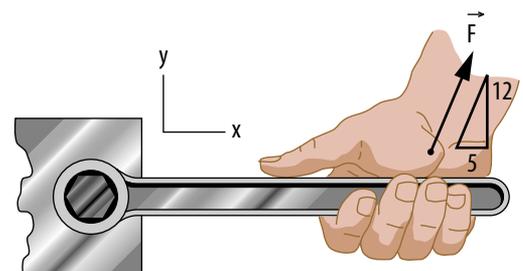


- 18** En tondant son gazon au moyen d'une tondeuse mécanique, une personne exerce une force de 75 N le long du bras AB de la machine. Calculer les composantes parallèle (x) et perpendiculaire (y) exercées sur le sol.



- 19** Une personne exerce au moyen de sa main, une force \vec{F} sur une clé.

Si la composante F_y de cette force \vec{F} est égale à 320 N, déterminer la composante F_x et l'intensité de \vec{F} .



Sonde de Pitot

Cet appareil est utilisé pour mesurer la vitesse d'un fluide en mouvement (par exemple pour mesurer la vitesse d'un planeur ou pour mesurer la vitesse d'une rivière).

La sonde de Pitot est constituée d'un simple tube coudé qu'on introduit dans l'écoulement selon le schéma ci-contre :

Au point A , relativement loin de la sonde, la vitesse du fluide est v . Au point B , la vitesse du fluide est nulle. En appliquant l'équation de Bernoulli entre ces deux points situés à la même altitude ($h_A = h_B$), on peut écrire :

$$p_A + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_B$$

ou encore

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = p_B - p_A$$

La différence de pression $p_B - p_A$ (appelée aussi pression d'arrêt) est donnée par la mesure de la hauteur h du liquide qui s'élève dans le tube :

$$p_B - p_A = \rho g h$$

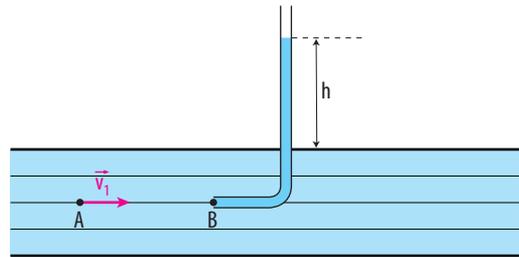
Ainsi, on obtient

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = \rho g h$$

D'où on en tire la vitesse cherchée

$$v = \sqrt{2gh}$$

En pratique, on peut remplacer le tube vertical par un manomètre moins encombrant.



Anémomètre d'avion.

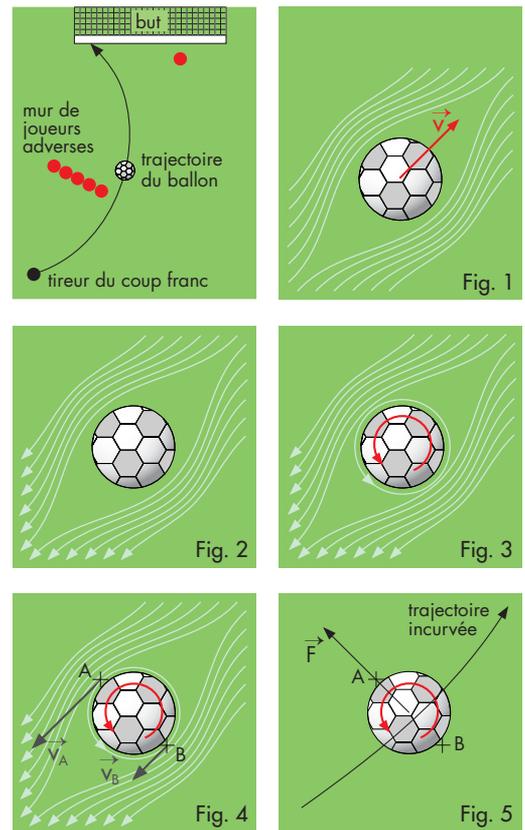
Le coup franc de Platini

Certains joueurs de football, comme Michel Platini ou David Beckham ont un talent particulier pour tirer les coups francs; ils réussissent à donner au ballon une trajectoire qui contourne le mur de joueurs adverses et finit dans la lucarne du but. Ce talent tient à la manière de «brosser» le ballon en le frappant de côté; ainsi, en plus d'être propulsé vers l'avant, le ballon tourne sur lui-même et suit une trajectoire incurvée.

- Si le ballon est joué sans effet particulier, il avance à la vitesse v dans l'air (figure 1); les filets d'air s'écoulent de façon symétrique de part et d'autre du ballon (figure 2).
- Si le ballon est «brossé», il entraîne, dans son mouvement de rotation sur lui-même, la couche d'air en contact avec lui (figure 3).

Cette rotation de l'air s'ajoute à son écoulement autour du ballon en A et s'y oppose en B; la vitesse de l'air est plus grande en A qu'en B (figure 4).

Par conséquent, la pression de l'air est plus petite en A qu'en B et il en résulte une force pressante latérale sur le ballon qui incurve sa trajectoire (figure 5).



Le coup franc de Michel Platini.

Tube de Venturi

Lorsqu'un fluide, circulant dans un tuyau horizontal, passe par un étranglement, il apparaît une diminution de pression au niveau de l'étranglement. La mesure de cette différence de pression par un manomètre permet de connaître le débit du fluide dans l'écoulement.

L'équation de continuité entre les deux sections S_1 et S_2 s'écrit:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

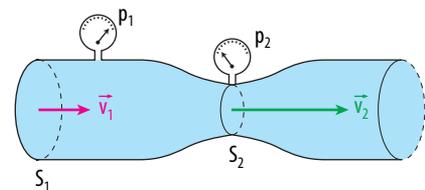
d'où

$$v_2 = \frac{S_1}{S_2} v_1$$

L'équation de Bernoulli $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$

permet d'exprimer la différence de pression:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right)$$



CONSTANTES UNIVERSELLES

Nombre d'Avogadro	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Charge électrique élémentaire	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron au repos	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Masse du proton au repos	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Masse du neutron au repos	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante universelle de gravitation	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Permittivité du vide (constante d'influence)	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
Constante de la loi de Coulomb	$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ ($k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$)
Perméabilité magnétique du vide (constante d'induction)	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$k = 1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6,6252 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

TABLES DE VALEURS NUMÉRIQUES

Substance		Masse	Dilatation		Température	
Valeurs aux conditions normales		Masse volumique	Coefficient de dilatation volumique	Coefficient de dilatation linéaire	Température de fusion	Température d'ébullition
■ Solides et liquides: $\theta = 20\text{ °C}$						
■ Gaz: $p = 1013\text{ hPa}$ et $\theta = 0\text{ °C}$ jusqu'en 1982		ρ	γ	α	θ_f	θ_e
■ Gaz: $p = 1000\text{ hPa}$ et $\theta = 0\text{ °C}$ à partir de 1982		$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	°C^{-1}	°C^{-1}	°C	°C
A	Acier (99% Fe; 0,2% C; ...)	$7,85 \cdot 10^3$		$11 \cdot 10^{-6}$	1515	~ 2500
	Air (23% O ₂ ; 76% N ₂ ; ...)	1,29	$3,67 \cdot 10^{-3}$		- 220	- 194
	Aluminium (Al)	$2,7 \cdot 10^3$		$25 \cdot 10^{-6}$	660	2467
	Argent (Ag)	$10,5 \cdot 10^3$		$19 \cdot 10^{-6}$	962	2212
	Azote gazeux (N ₂)	1,25	$3,67 \cdot 10^{-3}$		- 210	- 196
B	Béton	$2,3 \cdot 10^3$		$10 \cdot 10^{-6}$		
	Bois de chêne	$0,7 \cdot 10^3$		$\sim 50 \cdot 10^{-6}$		
	Bois de sapin	$0,5 \cdot 10^3$		$\sim 40 \cdot 10^{-6}$		
	Bronze (alliage de Cu et de Sn)	$8,8 \cdot 10^3$		$\sim 16 \cdot 10^{-6}$	~ 1000	
C	Caoutchouc naturel	$0,93 \cdot 10^3$			~ 75	
	Carbone (graphite)	$2,25 \cdot 10^3$			~ 3700	4827
	Constantan (60% Cu; 40% Ni)	$8,9 \cdot 10^3$		$15 \cdot 10^{-6}$	~ 1200	
	Cuivre (Cu)	$8,92 \cdot 10^3$		$17 \cdot 10^{-6}$	1083	2567
E	Eau (H ₂ O)	$1,00 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^{-3}$		0	100
	Etain (Sn)	$7,35 \cdot 10^3$		$20 \cdot 10^{-6}$	232	2270
	Ethanol (alcool à brûler)	$0,79 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$		- 117	78,5
	Essence (benzine)	$0,7 \cdot 10^3$				
F	Fer (Fe)	$7,86 \cdot 10^3$		$12 \cdot 10^{-6}$	1535	2750
	Fonte grise (95% Fe; 5% C)	$7,2 \cdot 10^3$		$9 \cdot 10^{-6}$	1177	
G	Gaz carbonique (CO ₂)	1,98	$3,72 \cdot 10^{-3}$		- 57 ^(sous pression)	- 78,5
	Glycérine (C ₃ H ₅ (OH) ₃)	$1,26 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^{-3}$		20	290
	Granit	$2,6 \cdot 10^3$		$\sim 7 \cdot 10^{-6}$	~ 1250	
	Glace (H ₂ O)	$0,917 \cdot 10^3$			0	
H	Hélium (He)	0,178	$3,66 \cdot 10^{-3}$		- 272	- 269
	Huile de chauffage (mazout)	$0,84 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-3}$		~ - 15	
	Huile d'olive ou de tournesol	$0,88 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^{-3}$		~ - 10	~ 300
	Hydrogène gazeux (H ₂)	0,0899	$3,66 \cdot 10^{-3}$		- 259	- 253