

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

c'est essentiellement en raison du soutien de Galilée à cette théorie qu'il fut jugé et emprisonné par l'Inquisition.

C'est en 1973 que Jupiter a reçu la première visite d'une sonde spatiale (Pioneer 10). D'autres sondes (Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2 et Ulysses) complétèrent cette mission. Actuellement (en 2000), la sonde Galilée est en orbite autour de la planète et nous enverra des données de Jupiter pendant encore au moins deux ans.

Les planètes gazeuses n'ont pas de surface solide. Leur atmosphère gazeuse devient de plus en plus dense au fur et à mesure que l'on s'enfonce. Ce que nous observons est essentiellement le sommet des nuages de leur atmosphère. Jupiter est composé de 90% d'hydrogène et 10% d'hélium (en nombre d'atomes, 75% d'hydrogène et 25% d'hélium en masse). Des traces de méthane, d'eau, d'ammoniac et de roches ont également été observées. Cette composition est très proche de celle de la nébuleuse ayant donné naissance au système solaire. Notre connaissance de l'intérieur de Jupiter est très incomplète car seuls 150 km sous la surface ont fait l'objet de mesures. Le modèle admis de la composition de Jupiter prévoit un noyau de roches de 10 à 15 masses terrestres. Autour de ce noyau, la masse principale de la planète serait formée par de l'hydrogène liquide métallique. Cet aspect du plus commun des éléments n'est possible qu'à des pressions supérieures à 4 millions de bar. Cette matière liquide et ionisée est conductrice d'électricité et est à l'origine du champ magnétique de Jupiter. Dans l'atmosphère de Jupiter, de forts vents (plus de 500 km/h) sont confinés dans de larges bandes; dans des bandes adjacentes, les vents soufflent dans des directions opposées. La grande tache rouge est un immense tourbillon; on ne comprend pas comment un tel phénomène peut persister aussi longtemps.

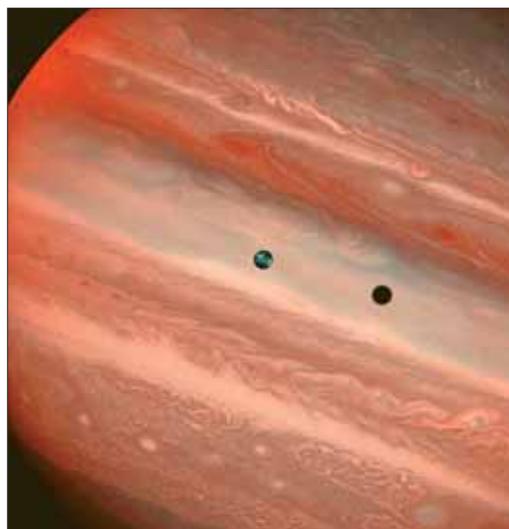
Jupiter rayonne plus d'énergie qu'il n'en reçoit du Soleil; cela signifie que l'intérieur est chaud (environ 20000 K), mais pas suffisamment pour déclencher la fusion nucléaire comme dans le Soleil.

Jupiter possède des anneaux de poussières rocheuses, comme Saturne, mais bien plus minces. La sonde Galilée a découvert une intense ceinture de radiations entre ces anneaux et les nuages de Jupiter; contenant des ions d'hélium d'origine inconnue.

Jupiter possède 16 satellites connus, les quatre lunes galiléennes (de 3138 km à 5262 km de diamètre) et douze autres objets plus petits (de 16 km à 196 km de diamètre). Ces satellites portent des noms relatifs à la vie de Zeus. Alors que le satellite Io est caractérisé par une intense activité volcanique, Europe est un monde de glace, pour ainsi dire dépourvu de traces d'impacts de météorites; Ganymède et Callisto ont des surfaces rocheuses et glacées criblées de cratères, rappelant un peu l'aspect de la Lune.



La tache rouge de Jupiter peut contenir deux fois la Terre.



Io et son ombre portée sur Jupiter.



En juillet 1994, la comète Shoemaker a percuté Jupiter.

Saturne

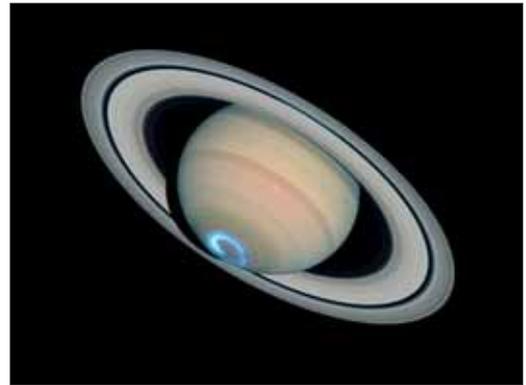


Saturne est la deuxième plus grosse planète du système solaire. Dans la mythologie romaine, Saturne est le dieu de l'agriculture. Le dieu grec associé est Cronus, fils d'Uranus et de Gaïa et père de Zeus. Saturne se caractérise par des anneaux spectaculaires; ce n'est qu'en 1977 qu'on découvrit que Jupiter, Uranus et Neptune possédaient également des anneaux beaucoup plus fins. La première sonde spatiale à visiter Saturne fut Pioneer 11 en 1979, suivies par Voyager 1 et 2. La sonde Cassini est actuellement en chemin vers Saturne; elle arrivera en 2004.

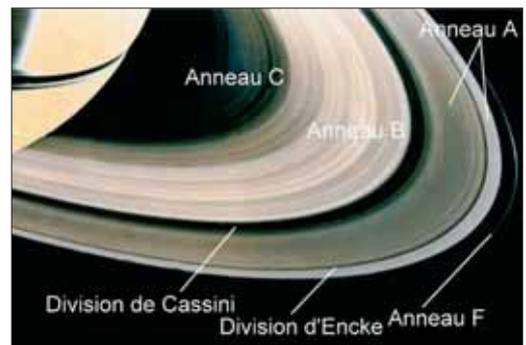
Saturne, en raison de sa rapide rotation sur elle-même et d'une composition fluide, est la planète la plus aplatie du système solaire; son diamètre équatorial est d'environ 120536 km alors que son diamètre polaire ne mesure que 108728 km. Saturne est également la planète la moins dense du système solaire, avec une densité inférieure à celle de l'eau (0,688). La composition de Saturne est similaire à celle de la nébuleuse ayant donné naissance au système solaire. La structure interne de Saturne est similaire à celle de Jupiter, avec un noyau de roches fondues (12000 K), une couche d'hydrogène métallique liquide et une atmosphère d'hydrogène moléculaire. Saturne, à l'instar de Jupiter, rayonne plus d'énergie qu'elle n'en reçoit du Soleil.

Deux anneaux importants et un autre un peu plus fin peuvent être observés depuis la Terre. Le vide entre les deux anneaux importants est connu sous le nom de la division Cassini. Les images réalisées par la sonde Voyager montrent quatre anneaux supplémentaires. A l'inverse des anneaux des autres planètes, ceux de Saturne sont particulièrement brillants. Bien que les anneaux paraissent homogènes, ils sont en fait composés d'innombrables grains de glace ou de roches recouvertes de glace (de quelques centimètres à quelques mètres de diamètre); chacun de ces grains est sur une orbite indépendante. Les anneaux de Saturne sont incroyablement fins; bien qu'ils s'étendent sur plus de 250000 km de diamètre, leur épaisseur ne dépasse pas 1,5 km. Le mouvement global des anneaux de Saturne est très complexe et instable; il est encore très mal compris. A l'instar des autres planètes gazeuses, l'origine des anneaux n'est pas connue.

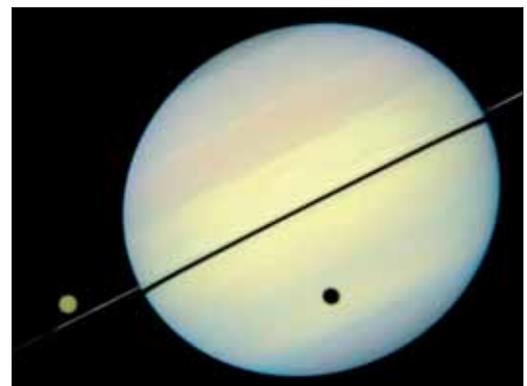
Saturne possède 18 satellites auxquels on a donné un nom; le plus gros se nomme Titan (5150 km de diamètre); il est enveloppé d'une épaisse couche de brume d'azote (99%) et de méthane (1%). On imagine sa surface parsemée de dépôts d'hydrocarbures gelés et de lacs d'azote liquide. En plus de ces 18 satellites reconnus, au moins une douzaine d'autres petits satellites ont reçu une désignation provisoire; toutefois, il y a peu de chance que ces satellites soient réels.



Saturne et ses spectaculaires anneaux.



Les anneaux de Saturne montrent une complexité inattendue.



Titan et son ombre portée sur Saturne.

CHR 6 • La dilatation des liquides

R é s u m é

La dilatation des liquides

A part les rares cas de réarrangement moléculaire (comme pour l'eau entre 0 °C et 4 °C), l'augmentation de température d'un liquide s'accompagne d'une augmentation de son volume:

$$\Delta V = (V_2 - V_1) = \gamma \cdot V_1 \cdot (\theta_2 - \theta_1) = \gamma \cdot V_1 \cdot \Delta\theta$$

$$V_2 = V_1 + \gamma \cdot V_1 \cdot \Delta\theta$$

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

V_1 volume initial en [m³]

V_2 volume final en [m³]

$\Delta V = (V_2 - V_1)$: variation de volume en [m³]

θ_1 température initiale en [°C] ou [K]

θ_2 température finale en [°C] ou [K]

$\Delta\theta = (\theta_2 - \theta_1)$: variation de température en [°C] ou [K]

γ coefficient de dilatation volumique du liquide en [°C⁻¹] ou [K⁻¹]

Généralement, un liquide est contenu dans un récipient qui se dilate lui-même; on peut en tenir compte si l'on connaît le coefficient de dilatation linéaire de la matière dont est constitué le récipient.

On calcule alors la dilatation apparente du liquide dans le récipient, cela est particulièrement utile pour les liquides contenus dans des récipients gradués:

$$\Delta V_{app} = (\gamma - 3\alpha) \cdot V_1 \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

$$V_{2app} = V_1 \cdot (1 + (\gamma - 3\alpha) \cdot \Delta\theta)$$

V_1 volume initial en [m³]

V_{2app} volume final apparent en [m³]

ΔV_{app} variation apparente du volume du liquide en [m³]

θ_1 température initiale en [°C] ou [K]

θ_2 température finale en [°C] ou [K]

$\Delta\theta = (\theta_2 - \theta_1)$: variation de température en [°C] ou [K]

γ coefficient de dilatation volumique du liquide en [°C⁻¹] ou [K⁻¹]

α coefficient de dilatation linéaire du récipient en [°C⁻¹] ou [K⁻¹]

E x e r c i c e s • C H R 6

1 Vrai ou faux?

- Tous les liquides se dilatent de la même manière, dans les mêmes conditions.
- En général, un liquide se dilate plus que le récipient qui le contient.
- Tous les thermomètres sont à liquide.
- La masse d'un liquide augmente quand le liquide se dilate.

2 Quels sont les facteurs qui influent sur la dilatation d'un liquide?

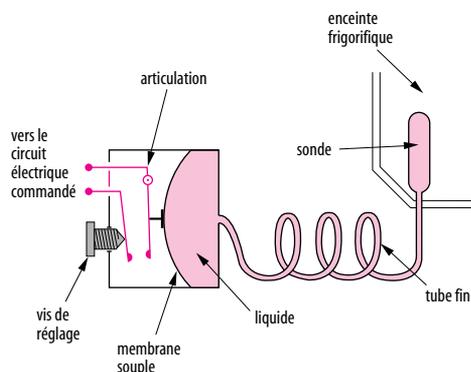
3 Citer un instrument (ou un dispositif) fonctionnant avec la dilatation d'un liquide.

4 La forme du récipient a-t-elle une influence sur la dilatation du liquide contenu?

5 La figure ci-dessous représente un thermostat d'installation frigorifique.

Que se passe-t-il quand la température de la chambre froide est trop élevée?

A quoi sert la vis de réglage?



6 Schématiser une expérience permettant de montrer que la masse d'un liquide ne varie pas quand il se dilate.

7 Donner une raison pour laquelle l'eau n'est pas utilisée comme liquide dans les thermomètres.

8 Pourquoi est-il dangereux de remplir «à ras bord» un réservoir d'essence en été?

9 Dans un thermomètre minima-maxima, on considère que la longueur de la colonne de mercure ne varie pas. Pourquoi?



Quel est le liquide thermométrique?

A quoi sert le mercure?

10 On remplit à ras un ballon de verre avec de l'alcool. On ferme ce ballon avec un bouchon traversé par un tube de verre. L'alcool remplit le tube sur quelques centimètres. Il n'y a aucune bulle d'air dans le ballon. On immerge rapidement ce ballon dans un récipient d'eau chaude. Pendant les premières fractions de seconde, on observe que le niveau de l'alcool dans le tube descend légèrement. Ensuite, ce niveau monte fortement.

Expliquer ces observations.

11 Comment la masse volumique de l'eau varie-t-elle en fonction de la température?

CHR 10. Notions de thermodynamique

1 Introduction

La thermodynamique est une théorie qui traite des relations entre les phénomènes thermiques et mécaniques. Il y a deux manières d'aborder l'étude de la physique macroscopique lorsque l'énergie intervient sous forme de chaleur.

La plus ancienne, développée surtout dans la première moitié du XIX^e siècle par des hommes comme Carnot, Clausius, William Thomson (devenu plus tard lord Kelvin), Robert Mayer et Joule, est celle de la thermodynamique classique. Elle est basée sur des principes et des lois qui sont des déductions et des généralisations d'un grand nombre d'expériences effectuées sur des systèmes macroscopiques où seules des variables comme la température, le volume et la pression servent à décrire les propriétés d'un système.

La seconde manière est celle de la thermodynamique statistique. Dans ce cas, on part des propriétés atomiques de la matière pour déduire des lois portant sur les systèmes macroscopiques. Les premiers travaux dans ce domaine portent sur la théorie cinétique des gaz (Maxwell puis Boltzmann et Gibbs) qui permet, en effectuant des moyennes sur des coordonnées microscopiques comme la vitesse des particules, d'obtenir des coordonnées macroscopiques comme le volume, la pression et la température.

La thermodynamique permet d'expliquer les principes de fonctionnement d'une machine à vapeur, d'un moteur à essence ou d'une pompe à chaleur. Elle est également à la base de la modélisation des phénomènes météorologiques.



Les principes de fonctionnement de la machine à vapeur et la météorologie sont décrits par la thermodynamique.

2 Quelques concepts thermodynamiques

Prenons l'exemple d'un corps chaud et d'un corps froid en contact thermique: le corps chaud se refroidit et le corps froid se réchauffe, jusqu'à ce qu'ils soient tous deux à la même température. L'égalisation est due à un flux d'énergie du corps chaud au corps froid. Quand ce flux cesse, les deux corps sont en équilibre thermique. Ce fait peut être constaté expérimentalement en utilisant un troisième corps.

«Quand deux corps sont en équilibre thermique avec un troisième corps, ils sont en équilibre thermique entre eux». Cet énoncé est appelé parfois le principe zéro de la thermodynamique.

Le calcul du temps et de la manière que met un système pour atteindre un état d'équilibre est un problème extrêmement complexe qui ne sera pas abordé ici.

L'état d'équilibre d'un système est défini à partir de quelques variables macroscopiques qui définissent toutes les autres propriétés macroscopiques du système. Ces dernières sont appelées fonctions d'état. Par exemple, l'état d'un fluide homogène est entièrement déterminé par sa masse, son volume et sa pression. Sa température est une fonction d'état.

Pour les gaz parfaits, l'équation d'état est:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p : pression en [Pa]

V : volume en [m^3]

n : nombre de moles de gaz

R : constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T : température en [K]

On peut réécrire cette équation en faisant apparaître le nombre N de molécules de gaz:

avec $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ molécules par mole (nombre d'Avogadro)

$$\text{alors } n = \frac{N}{N_A} \text{ et } p \cdot V = N \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T = N \cdot k \cdot T$$

où $k = \frac{R}{N_A}$ est la constante de Boltzmann

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

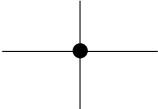
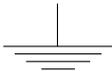
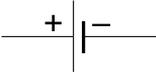
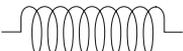
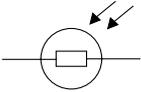
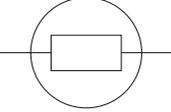
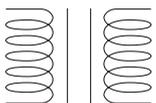
L'intérêt d'écrire l'équation d'état sous cette forme est de faire apparaître la quantité kT qui a les dimensions d'une énergie. A la température ordinaire ($T = 300 \text{ K}$), kT vaut environ $4 \cdot 10^{-21}$ joule.



Le thé va se refroidir et le lait se réchauffer pour atteindre un équilibre thermique. L'inverse n'a jamais été observé!

ÉLECTRICITÉ

Symboles pour les schémas électriques

Croisement de conducteurs sans connexion		Voltmètre	
Croisement de conducteurs avec connexion		Ampoule	
Mise à la masse		Générateur (de tension)	
Mise à terre		Pile	
Interrupteur ouvert		Condensateur	
Interrupteur fermé		Condensateur variable	
Résistance		Bobine	
Photorésistance		Moteur	
Résistance variable		Diode	
Fusible		Transformateur	
Ampèremètre			

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

