

Auteur ou collectivité : Conservatoire national des arts et métiers (France)

Auteur : Conservatoire national des arts et métiers (France)

Titre : Catalogue du musée. Section GA, Physique mécanique

Adresse : Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1955

Collation : 1 vol. (69 p.) : ill. ; 21 cm

Cote : CNAM-MUSEE AM5

Sujet(s) : Conservatoire national des arts et métiers (France) ; Musée des arts et métiers (Paris)

-- Catalogue ; Physique – Instruments ; Appareils et instruments scientifiques ; Charles, Jacques Alexandre César (1746-1823) ; Statique ; Dynamique ; Pendule

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?M2312>



La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique <http://cnum.cnam.fr>*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique <http://cnum.cnam.fr>*. You may assemble and distribute links that point to other CNUM documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from CNUM.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CATALOGUE DU MUSÉE

SECTION

GA

PHYSIQUE  
MÉCANIQUE



P A R I S

1 9 5

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



# PHYSIQUE MÉCANIQUE

SALLES 25

Reproduction interdite

---

*Copyright by CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS*  
292, rue Saint-Martin, Paris (III<sup>e</sup>)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

---

CATALOGUE DU MUSÉE

SECTION

GA

PHYSIQUE  
MÉCANIQUE



1 9 5 5

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Indexation décimale internationale : 53

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
<b>Table des gravures .....</b>	<b>7</b>
<b>Liste des physiciens .....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des constructeurs.....</b>	<b>11</b>
<b>Plan d'indexation.....</b>	<b>13</b>
 <b>STATIQUE.....</b>	
Composition des forces .....	GA 1 ..... 15
Équilibre des corps pesants.....	GA 1-1 ..... 16
Balances, leviers, poulies .....	GA 1-2 ..... 18 GA 1-3 ..... 20
 <b>DYNAMIQUE.....</b>	
Pesanteur et chute des corps .....	GA 2 ..... 24
Pendules .....	GA 2-1 ..... 24
Propriétés générales du pendule.....	GA 2-2 ..... 31
Composition de mouvements pendulaires .....	GA 2-21 ..... 33
Pendule pour la démonstration de la rotation de la terre .....	GA 2-22 ..... 36 GA 2-23 ..... 3
Mouvements de rotation. Force centrifuge.....	GA 2-3 ..... 43
Gyroscopie.....	GA 2-4 ..... 46
Mouvement à la Poinsot.....	GA 2-5 ..... 59
 <b>CHOCS ET PERCUSSIONS.....</b>	
Étude des chocs .....	GA 3 ..... 61 GA 3-1 ..... 63
 <b>ACTION DE CONTACT ENTRE SOLIDES.....</b>	
Adhérence .....	GA 4 ..... 66
Frottement .....	GA 4-1 ..... 66 GA 4-2 ..... 67

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## TABLE DES GRAVURES

	Pages.
1. - Appareil de Delaunay .....	6.287 16
2. - Appareil de Deprez .....	10.184 19
3. - Appareil de Deprez (schéma.) .....	10.184 19
4. - Fléau triangulaire (schémas) .....	1.478 21
5. -	
6. - { Colonne de s'Gravesande (schémas) .....	1.458 22
7. -	
8. - Plan incliné de Galilée .....	1.433 25
9. - Gouttière de s'Gravesande .....	1.438 25
10. - Machine d'Atwood .....	1.431 26
11. - Machine d'Atwood (schéma) .....	1.431 26
12. - Grande machine de Morin .....	4.558 27
13. - Grande machine de Morin (schéma) .....	4.558 28
14. - Appareil de Digeon (schéma) .....	10.528 29
15. - Pendule circulaire (théorie) .....	31
16. - Pendule cycloïdal de Huygens .....	1.434 34
17. - Pendule cycloïdal de Huygens (schéma) .....	1.434 34
18. - Boule du pendule de Foucault de 1851 .....	12.658 39
19. - Pendule de Foucault, 1855 .....	8.042 40
20. - Appareil à disque tournant (schéma) .....	2.603 43
21. - Support à vis de pression (schéma) .....	1.425 44
22. - Gyroscope de Bohnenberger (schéma) .....	11.806 48
23. - Gyroscope de Foucault (schéma) .....	7.688 50
24. - Gyroscope de Foucault .....	7.688 50
25. - Gyroscope de Robert (schéma) .....	8.615 51
26. - Polytrope de Sire (schéma) .....	18.629 53
27. - Polytrope de Sire .....	18.629 54
28. - Compas gyroscopique Anschütz-Kaempfe (schéma) .....	14.590 58
29. - Billard en marbre pour la démonstration des lois de la mécanique (schéma) .....	1.419 63
30. - Cadre elliptique pour l'étude des lois de la réflexion d'une bille (schéma) .....	1.423 65

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## LISTE DES PHYSICIENS

ANSCHÜTZ .....	57
ATWOOD .....	26, 27
BONHENBERGER .....	48
BULFINGER .....	45
CASSINI .....	20
DARBoux .....	59
DELAUNAY .....	16, 23
DEPREZ .....	18
DESAGULIERS .....	67
DIDION .....	44
FOUCAULT .....	38, 39, 40, 41, 42, 49, 50, 57
GALILÉE .....	24, 33
GRUEY.....	53
HUYGENS .....	33
KELVIN.....	56
KOENIGS.....	59
LISLE DE.....	35
LECARME.....	37
MORIN .....	27, 28, 29, 43, 44
PLATEAU .....	45
POINSOT .....	59
POUDRA .....	52
RICHARD .....	52
ROBERT .....	51, 54, 55
S'GRAVESANDE.....	16, 21, 25
SIRE .....	42, 53, 54, 55, 56, 57, 58
WILBERFORCE .....	36

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## **LISTE DES CONSTRUCTEURS ET DES FABRICANTS CITÉS**

BIANCHI .....	52
BREGUET .....	44, 58
BOURBOUZE .....	38
CARPENTIER .....	18
CHATEAU .....	53, 59
CLAIR .....	23, 28
DELEUIL .....	16, 23
DIGEON .....	29
DUMOULIN-FROMENT .....	49
GRAHAM .....	35
HARDY .....	58
REDIER .....	35
SYLVESTRE .....	41, 42
WAGNER .....	27, 43

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

## PLAN D'INDEXATION

Le catalogue du Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers comporte des volumes distincts qui correspondent à une science ou à une technique bien déterminée.

Chaque volume est désigné par une lettre conformément au tableau ci-dessous :

INSTRUMENTS ET MACHINES A CALCULER.....	A
MÉCANIQUE, ESSAIS DE MATÉRIAUX.....	B
MACHINES MOTRICES ET RÉCEPTRICES.....	C
TRANSPORTS SUR ROUTE.....	DA
TRANPORTS SUR RAILS .....	DB
NAVIGATION MARITIME, FLUVIALE, AÉRIENNE.....	DC
ÉLECTRICITÉ, MAGNÉTISME.....	E
TÉLÉCOMMUNICATIONS.....	F
MÉCANIQUE PHYSIQUE.....	GA
CHALEUR .....	GB
OPTIQUE.....	GC
ACOUSTIQUE.....	GD
PHOTOGRAMMÉTRIE, LEVÉ DES PLANS, GÉODÉSIE.....	H
ASTRONOMIE, MESURE DU TEMPS.....	J
POIDS ET MESURE, MÉTROLOGIE .....	K
PHOTOGRAPHIE, CINÉMATOGRAPHIE .....	L
ARTS GRAPHIQUES.....	M
VERRERIE.....	N
CHIMIE.....	P
MINES, MÉTALLURGIE.....	R
CÉRAMIQUE .....	S
INDUSTRIES TEXTILES, TEINTURES ET APPRÊTS.....	T
MACHINES ET OUTILLAGES AGRICOLES .....	U
CONSTRUCTIONS ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.....	V
ÉCONOMIE DOMESTIQUE ET HYGIÈNE.....	X
MATHÉMATIQUE.....	Y

Chaque volume est divisé en sections et sous-sections qui sont désignés par un nombre, par exemple : GA 2-4.

Le chiffre 2 indique ici la section : Dynamique. Le chiffre 4 indique la sous-section : Gyroscopie. Dans chaque sous-section chaque objet est désigné par un numéro d'ordre.

La désignation de chaque modèle comporte le numéro d'ordre, le titre de l'objet, le nom du donateur, la description de l'objet, le numéro d'inventaire, la date d'entrée au Musée, sous la forme :

1. *GYROSCOPE DE L. FOUCAULT, par Dumoulin-Froment.*

Provenant de l'Exposition de 1867.

Foucault mettait le gyroscope en rotation en montant sur un appareil à engrenage, le tore, séparé de la suspension ; il l'y replaçait dès que la vitesse voulue était atteinte.

Avec cet appareil Foucault fit d'importantes observations. Il remarqua la permanence de l'axe de la direction du tore par rapport aux étoiles : pointé vers l'une d'elles il la suit dans le mouvement diurne. Après avoir fixé l'un des anneaux de la suspension, ce qui oblige l'axe du tore à se mouvoir dans un plan déterminé, Foucault mit en évidence l'orientation de cet axe suivant la méridienne géographique, ou l'axe de la terre selon celui des deux anneaux qu'il fixait. Ces expériences célèbres sont à l'origine de l'emploi du gyroscope à bord des navires pour la détermination du point.

7.688 — E. 1867.

Les tableaux ou dessins sont numérotés sous la forme suivante : 8 T ou 24 t.

Une collection de dessins représentant les principales inventions du XIX<sup>e</sup> siècle donnée par la Commission du Musée centennal du groupe IV de l'Exposition Universelle de Paris en 1900, est exposée sous le numéro 13.397.

Les dessins portant le numéro collectif 13.571, placés dans les meubles de la salle 53, sont communiqués aux personnes qui en reçoivent l'autorisation préalable.

Les instruments et machines inscrits à l'inventaire sous les numéros 1419 à 1864 proviennent tous de la collection personnelle du physicien J. A. C. Charles. Ce cabinet de physique qui était un des plus complets et des plus célèbres à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle a été acquis par décret impérial du 7 floréal an 13. Il est entré dans les collections du Conservatoire des Arts et Métiers en 1807.

# **S T A T I Q U E**

## **G A 1**

**La statique est l'étude des conditions d'équilibre des forces et de la configuration des systèmes mécaniques au repos.**

# COMPOSITION DES FORCES

G A 1-1

Lorsque plusieurs forces concourantes agissent sur un système matériel on peut trouver une seule force capable de les remplacer, c'est-à-dire de produire à elle seule le même effet que toutes ces forces réunies. Cette force est dite leur *résultante* : la résultante de deux forces concourantes est représentée par la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux forces.

## 1. APPAREIL DE DELAUNAY pour la démonstration de la composition des forces, par Deleuil et fils.

Cet appareil analogue à celui de s'Gravesande (1458) comporte deux poulies suspendues aux deux angles supérieurs d'un cadre (fig. 1). Sur ces deux poulies passent deux fils  $f_1$  et  $f_2$  qui

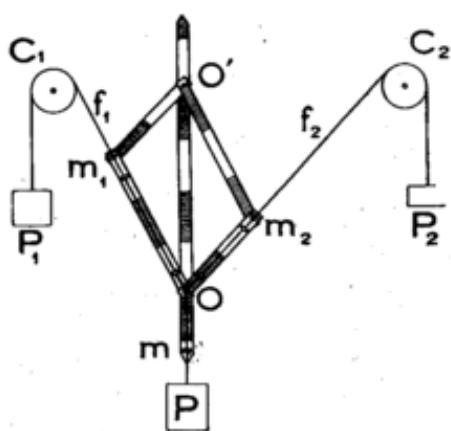


Fig. 1. — Appareil de Delaunay (6.287).

supportent les poids  $P_1$  et  $P_2$  et sont reliés en un point O à un troisième fil auquel est suspendu un poids P qui équilibre les poids  $P_1$  et  $P_2$ .

Le point O est le sommet d'un parallélogramme articulé dont deux des côtés sont parallèles aux fils auxquels ils sont réunis par deux œilletons  $m_1$  et  $m_2$ .

Les longueurs des côtés  $Om_1$  et  $Om_2$  du parallélogramme sont entre elles comme la grandeur des poids  $P_1$  et  $P_2$ .

Dans ces conditions, une tige mobile autour de O, continuellement orientée selon OP, vient, dans la position d'équilibre, prendre la position verticale en passant par le point O', quatrième sommet du parallélogramme dont les autres sommets sont O  $m_1$ ,  $m_2$ ; ce qui est une vérification grossière de la règle du parallélogramme.

L'expérience peut être faite avec trois parallélogrammes dont le rapport des côtés correspond aux rapports des poids  $\frac{P_1}{P_2}$  égaux à  $4/3$ ,  $5/3$ ,  $5/2$ .

6.287. — E. 1855.



# ÉQUILIBRE DES CORPS PESANTS

G A 1-2

L'étude générale des équilibres montre qu'un corps solide pesant est en équilibre stable lorsque son centre de gravité est aussi bas que le permet la liaison à laquelle il est soumis.

En particulier, un solide ayant un seul point d'appui est en équilibre si son centre de gravité se trouve sur la verticale du point d'appui. L'équilibre n'est stable que sur cette verticale, le centre de gravité se trouve en dessous de ce dernier point.

## 1. ÉQUILIBRISTE EN IVOIRE.

La condition de stabilité est réalisée par l'adjonction à l'équilibriste de deux masses de plomb qui abaissent son centre de gravité au-dessous du point de suspension.

1.488. — E. 1807.

## 2. APPAREIL DE DEPREZ fournissant l'exemple du maintien d'une masse pesante en équilibre indifférent sur une circonférence de cercle, construit, par J. Carpentier.

Don de J. Carpentier.

Autour du point fixe O peut pivoter une tige OA sur laquelle une masse M peut glisser au delà de A (fig. 2). Au point A, qui est fixe sur la tige OA, s'exerce une force F constamment dirigée vers le point fixe B qui se trouve placé sur la verticale du point O. On montre que pour que la tige OA soit en équilibre quelle que soit sa position autour de O, il faut que la force F soit proportionnelle à AB, et que M soit convenablement placé sur la tige OA.

L'appareil comprend un bâti métallique vertical (fig. 3) avec vis calantes, portant les axes O et B. La droite OA est matérialisée par deux tiges parallèles reliées de façon rigide entre elles; ce système est mobile autour de l'axe O. La masse M est constituée par deux disques de cuivre qui peuvent glisser sur chaque tige et être fixés dans une position donnée par des vis de serrage. La

force  $F$  est due à un ressort fixé en A et passant dans un œilletton pratiqué dans l'axe B. Le ressort est tendu par une pièce de réglage C sur une tige métallique  $xy$ . Cette tige est solidaire de

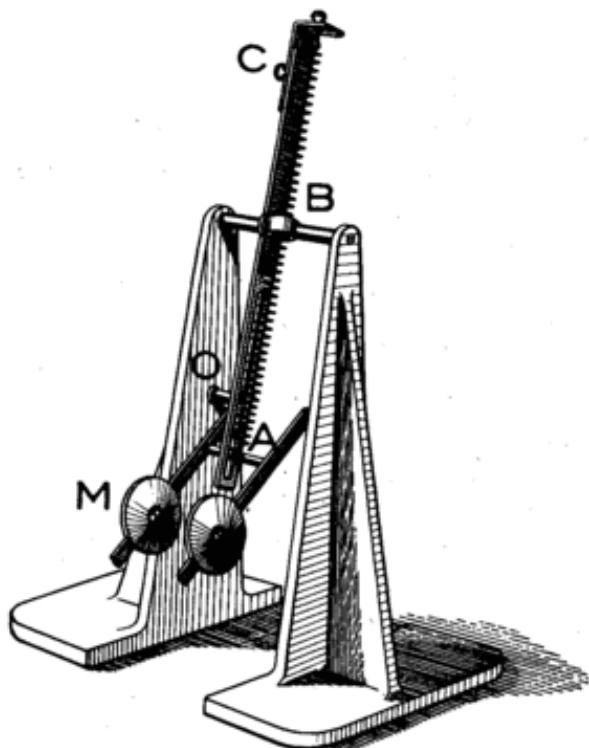


Fig. 2. — Appareil de Deprez (10.184).

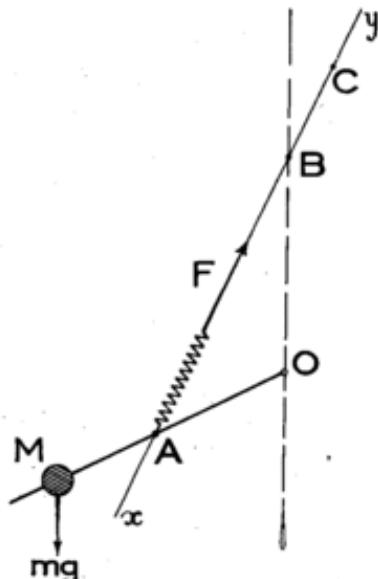


Fig. 3. — Appareil de Deprez (schéma).

l'axe B autour duquel elle peut pivoter; elle joue librement autour de l'axe A. La pièce C qui peut coulisser sur la tige  $xy$  sert au réglage de l'appareil.

**10.184.** — E. 1884.

### 3. PLAN INCLINÉ avec disque dont le centre de gravité est excentré.

Si le centre de gravité est suffisamment éloigné du centre géométrique, le disque posé sur un plan incliné ne roule pas suivant la ligne de plus grande pente. Il s'arrête, en équilibre, dans une position déterminée.

**4.169.** — E. ant. à 1849.

# BALANCES — LEVIERS — POULIES

G A 1-3

## 1. *BALANCE ou LEVIER DE DOMINIQUE CASSINI.*

Cette balance permet de vérifier directement les propriétés des leviers; les forces qui s'exercent sur chaque bras de levier sont dues à des poids qui peuvent être accrochés en un point quelconque du fléau. Ce fléau porte des graduations qui permettent de lire dans chaque cas les distances du point d'application de la force à l'axe du fléau. Si deux forces dirigées en sens contraire sont appliquées à chaque extrémité du fléau, l'équilibre est réalisé lorsque la somme algébrique du moment des forces appliquées par rapport à l'axe est nulle. Autrement dit, les forces étant verticales, l'équilibre est réalisé lorsqu'il y a égalité des produits de chaque force par la distance de leur point d'application à l'axe du fléau. Si sur chaque bras du fléau plusieurs poids sont accrochés, on fait la somme des diverses grandeurs considérées de part et d'autre, les deux sommes doivent être égales.

1.455. — E. 1807.

## 2. *SUPPORT AVEC FLÉAU pour la démonstration des propriétés de la balance.*

4.260. — E. av. 1807.

L'appareil est construit dans le même principe que la balance de Cassini. Le fléau est une planchette horizontale sur laquelle on pose les poids. Le point d'application de la force est plus difficile à déterminer qu'avec la balance de Cassini; aussi la précision est-elle moins grande.

**3. FLÉAU TRIANGULAIRE pour la démonstration des propriétés de la balance.**

Ce fléau est une planchette triangulaire sur la ligne médiane de laquelle sont percés deux trous  $O_1$ ,  $O_2$  (fig. 4).

Lorsqu'il est suspendu par le point  $O_1$ , son axe  $O_1 O_2$  prend une

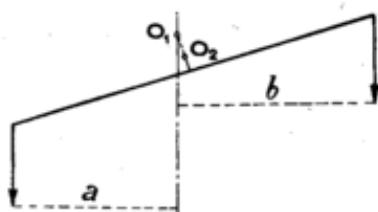


Fig. 4 A.

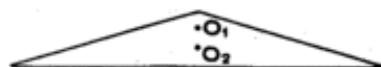


Fig. 4 B.  
Fléau triangulaire (schémas).

certaine inclinaison sur la verticale quand on l'écarte de sa position d'équilibre. Si les forces appliquées aux deux extrémités sont égales, les bras de levier n'étant plus égaux, la balance revient d'elle-même à sa position d'équilibre. On voit que la trop grande stabilité du fléau peut entraîner une diminution considérable de la sensibilité.

1.478. — E. 1807.

**4. COLONNE DE S'GRAVESANDE pour la démonstration des propriétés des poulies, des treuils, du plan incliné, du coin, etc.**

L'appareil comporte une colonne en bois à laquelle peuvent être fixés ou suspendus divers instruments :

1<sup>o</sup> Des poulies fixes qui permettent de vérifier simplement que deux poids égaux suspendus à l'extrémité d'un fil passant sur la roue de la poulie restent en équilibre quelle que soit leur position;

2<sup>o</sup> Des poulies dont les axes peuvent se déplacer verticalement tout en restant parallèles entre eux. En fixant un fil à l'une de ses extrémités et en le faisant passer sur une poulie mobile, puis sur une poulie fixe, on constate que si le total du poids de la poulie mobile et du poids qui lui est suspendu est égal à  $P$ , il faut un poids égal à  $\frac{P}{2}$  pour maintenir le système en équilibre. Il s'ensuit qu'une poulie mobile divise par 2 la force nécessaire pour soulever un poids quelconque.

L'appareil permet de réaliser toute une série de combinaisons de poulies fixes et de poulies mobiles qui, dans ces conditions, diminuent l'effort dans un rapport déterminé. Ce rapport dépend cha-

que fois du nombre de poulies mobiles utilisées : ces combinaisons sont ce qu'on appelle des moufles et des palans.

3<sup>o</sup> Devant la colonne sont placés deux secteurs métalliques fixes, au centre desquels se trouvent des poulies; ce dispositif permet de vérifier la loi du parallélogramme des forces (fig. 5); les secteurs servent à mesurer les sinus et cosinus des angles des forces qui agissent sur les fils qui constituent le parallélogramme. Le même dispositif permet de déterminer la force qui est nécessaire pour maintenir en équilibre, sur un plan incliné, un poids donné (fig. 6). Cette force est égale au poids du corps multiplié par le sinus de l'angle d'inclinaison du plan avec l'horizontale.

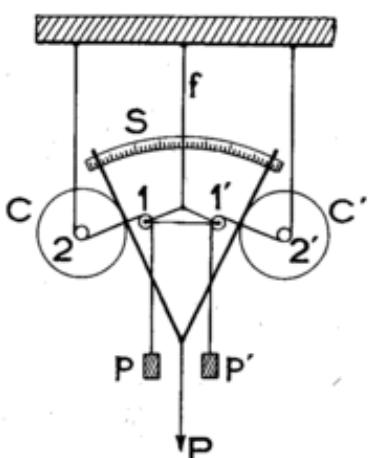


Fig. 5.

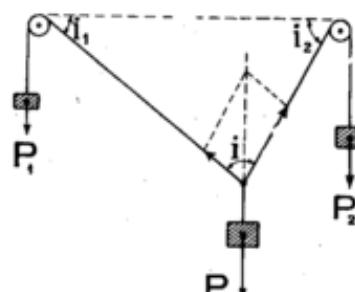


Fig. 6.

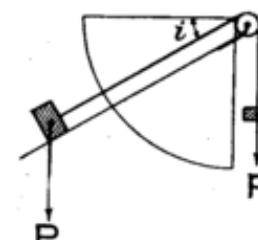


Fig. 7.

Colonne de s'Gravesande (schémas).

4<sup>o</sup> Derrière la colonne se trouve un treuil servant à vérifier les lois relatives aux couples ou bras de leviers.

5<sup>o</sup> Au pied de la colonne se trouve un coin formé de deux plaques métalliques faisant entre elles un certain angle et avec lesquelles on réalise le montage représenté par le schéma ci-contre (fig. 7).

Le coin est soutenu par deux cylindres C et C'; au sommet du coin se trouve suspendu un poids P; sur les axes des cylindres sont fixées deux poulies 1 et 1'; deux autres poulies 2 et 2' sont solidaires l'une de l'autre et soutenues par un fil f. Sur les poulies 1, 2 d'une part et 1', 2' d'autre part passent deux fils qui supportent chacun un poids p: on constate que l'équilibre du système a lieu lorsqu'une certaine relation est vérifiée entre les quantités p, P et l'angle formé par les faces du coin.

1.458. — E. 1807.

## AUX RÉSERVES

1. APPAREIL pour la démonstration des propriétés du levier.

1.454. — E. 1807.

2. BALANCE de DELAUNAY pour la démonstration des propriétés du levier, par Deleuil et fils.

6.288. — E. 1807.

3. APPAREIL pour la démonstration des propriétés des poulies.

1.456. — E. 1807.

4. COLLECTION de 4 moufles.

1.459. — E. 1807.

5. PYRAMIDE QUADRANGULAIRE en bois.

Modèle pour l'étude des lois du mouvement des corps à différentes vitesses par Clair.

2.708. — E. 1807.

6. APPAREIL pour démonstration de l'inertie.

6.586. — E. 1855.

# DYNAMIQUE

## G A 2

### PESANTEUR ET CHUTE DES CORPS

#### G A 2-1

Les premières études expérimentales de la chute des corps ont été faites par Galilée. Quelques-uns de ses prédécesseurs, et en particulier Léonard de Vinci, avaient partiellement entrevu les lois de la dynamique, mais c'est lui qui sut réaliser les premières expériences qui devaient l'amener à formuler ces lois. Galilée eut l'intuition que la chute d'un corps le long d'un plan incliné se fait suivant la même loi que dans le cas de la chute libre; il eut également l'intuition d'assimiler le mouvement d'un pendule à celui d'un corps parcourant un plan incliné : c'est ainsi qu'il parvint à montrer que les espaces parcourus en chute libre sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir. Il en déduisit que la vitesse de chute d'un corps croît proportionnellement au temps.

Les notions de force, de masse et d'accélération furent précisées par les travaux de ses successeurs et en particulier par ceux de Huygens et de Newton. Le premier, pour résoudre le problème de la mesure du temps et du perfectionnement des horloges, établit la théorie du pendule au moyen de la notion des moments d'inertie. Newton fut le créateur de la théorie de la gravitation universelle qui constitue une des étapes les plus importantes dans le développement de la dynamique.

#### 1. PLAN INCLINÉ DE GALILÉE.

Curseur en cuivre roulant sur une corde pour l'étude des lois de la chute des corps.

Au moyen du plan incliné, Galilée ralentit le mouvement d'un corps pesant tournant sous l'action de son poids et le rend aisé-

ment observable sans en altérer la nature; il découvre en 1602 que pour une même hauteur du plan incliné le mobile pesant arrive à la fin du parcours avec une même vitesse, quelle que soit l'inclinaison du plan.

1.433. — E. 1807.

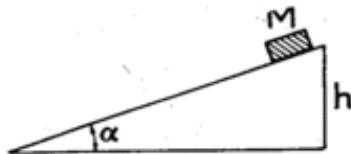


Fig. 8. — Plan incliné de Galilée (1.433).

## 2. TUBE DE VERRE pour l'étude de la chute des corps dans le vide.

Cet appareil comprend un tube de verre qui renferme une plume d'oiseau, une boule en sureau et une boule en métal, c'est-à-dire des objets de densités très différentes. On fait le vide dans le tube; on constate, quand on le retourne, que tous les objets tombent avec la même vitesse.

1.443. — E. av. 1807.

## 3. MARTEAU d'EAU.

L'appareil est constitué par un tube de verre à moitié rempli d'eau. Au-dessus de l'eau on a fait le vide; lorsqu'on retourne le tube, l'eau tombe en masse sans se diviser en gouttelettes et vient frapper le fond du tube avec un bruit sec.

1.523. — E. 1807.

## 4. GOUTTIÈRE DE S'GRAVESANDE.

Une gouttière figurant un quart de cercle est placée dans un plan vertical, sa concavité dirigée vers le haut.

Une bille roulant le long de cette gouttière est animée au moment où elle la quitte d'un mouvement horizontal de vitesse donnée. Après avoir quitté la gouttière, la bille tombe suivant une trajectoire parabolique; elle traverse alors une série d'anneaux disposés suivant une parabole. Cette vérification expérimentale est assez grossière et ne correspond qu'à une série d'essais pour laquelle la relation entre la masse de la bille et sa vitesse est convenable.

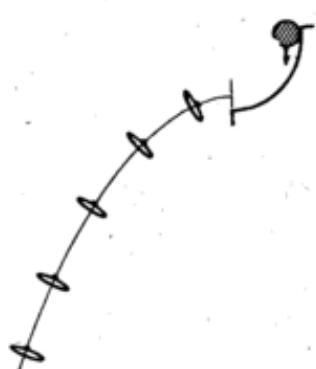


Fig. 9. — Gouttière de s'Gravesande (1.438)

1.438 — E. 1807.

## 5. MACHINE D'ATWOOD avec compteurs et accessoires.

La relation entre l'accélération et la masse a été mise en évidence par le physicien anglais Atwood au moyen de cette machine.

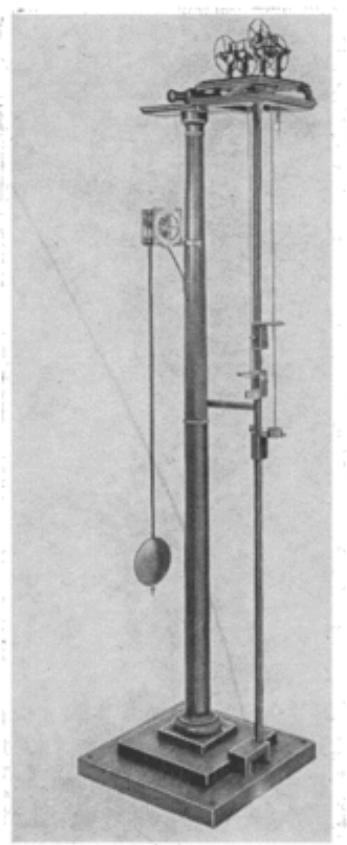


Fig. 10. — Machine d'Atwood (1.431).

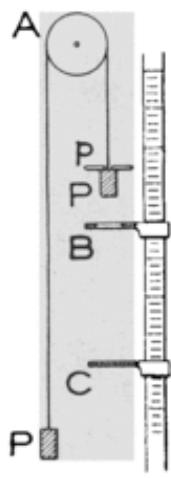


Fig. 11.  
Machine  
d'Atwood  
(schéma)

Celle-ci consiste essentiellement en une poulie A sur laquelle passe un fil supportant à ses deux extrémités des poids égaux  $P$  (fig. 11). Ce système est donc en équilibre; il se met en mouvement si l'on ajoute à l'un des poids  $P$  une surcharge  $p$ ; le poids  $P + p$  tombe verticalement tandis que le poids  $P$  remonte avec une vitesse égale. La force mise en jeu est  $p$ , et la masse mise en mouvement  $2P + p$ . Une règle graduée permet de mesurer les espaces verticaux parcourus par le poids  $P + p$  pendant sa chute. On mesure le temps à l'aide d'un métronome battant la seconde. On constate que la vitesse varie proportionnellement au temps; par conséquent, l'accélération est constante puisque l'accélération est l'augmentation de vitesse par unité de temps.

En utilisant des surcharges  $p$  de valeurs différentes, la machine permet de vérifier que l'accélé-

ration est à la fois proportionnelle à la force mise en jeu et inversement proportionnelle à la masse mise en mouvement, ce qui est la loi fondamentale de la dynamique.

Enfin un curseur évidé B qui sert à arrêter la surcharge peut être fixé le long de la règle graduée en différentes positions. Au-delà du curseur, le poids P continue donc son mouvement jusqu'à un curseur plein qui limite sa course. On constate ainsi que, au-delà de B, les espaces parcourus par le poids P sont proportionnels au temps, ce qui vérifie le principe de l'inertie : lorsqu'un point matériel n'est soumis à aucune force, s'il est au repos il reste au repos, s'il est en mouvement son mouvement est rectiligne et uniforme.

1.431. — E. 1807.

#### 6. MACHINE D'ATWOOD sur chariot.

Cette machine est semblable à la précédente; elle est montée sur chariot pour pouvoir être déplacée.

1.421. — E. 1807.

#### 7. GRAND APPAREIL DE GÉNÉRAL MORIN pour les démonstrations expérimentales des lois de la chute des corps, construit par Wagner.

Cette machine a été imaginée par le général Morin sur les indications de Poncelet en vue de réaliser un enregistrement graphique de la chute d'un corps en fonction du temps.

Elle se compose d'un cylindre en bois, vertical, de trois mètres de haut, qui peut être animé d'un mouvement de rotation autour de son axe (fig. 13). Ce mouvement est dû à la descente d'un poids moteur maintenu par un treuil, et régularisé par l'ensemble d'une roue à rochets et d'un balancier. Devant le cylindre, un corps peut tomber en chute libre; il est simplement guidé par deux fils métalliques verticaux; il porte un crayon qui appuie légèrement sur le cylindre.

La surface du cylindre est recouverte d'une feuille de papier; le moteur étant mis en marche on

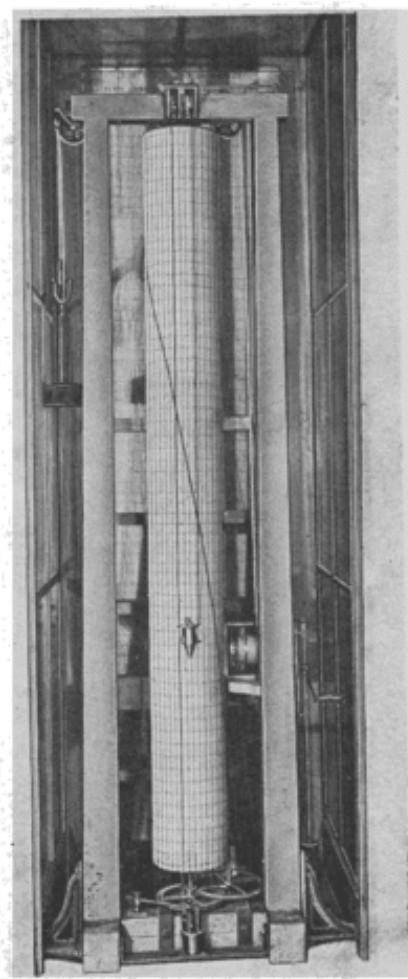


Fig. 12 — Grande machine de Morin (4.558).

laisse tomber le corps. Après développement de la feuille on obtient la représentation graphique du mouvement. La courbe est une parabole; on en déduit que l'accélération  $g$  du mouvement est constante, de l'ordre de 980 c.g.s. L'appareil ne permet pas de calculer l'accélération de la pesanteur avec une grande précision.

4.558. — E. 1850.

### 8. APPAREIL DU GÉNÉRAL MORIN, *par Clair.*

L'appareil est construit sur le même principe que le précédent mais ne mesure que 1 m 50 de haut. La régulation du mouvement du cylindre est obtenue par un moulinet à ailettes. Une arbalète placée au pied de l'appareil permet de lancer le corps pesant vers le haut. On peut enregistrer successivement le mouvement ascendant, puis le mouvement descendant  $P$  du mobile et déterminer d'une façon précise le sommet de la trajectoire. Sur

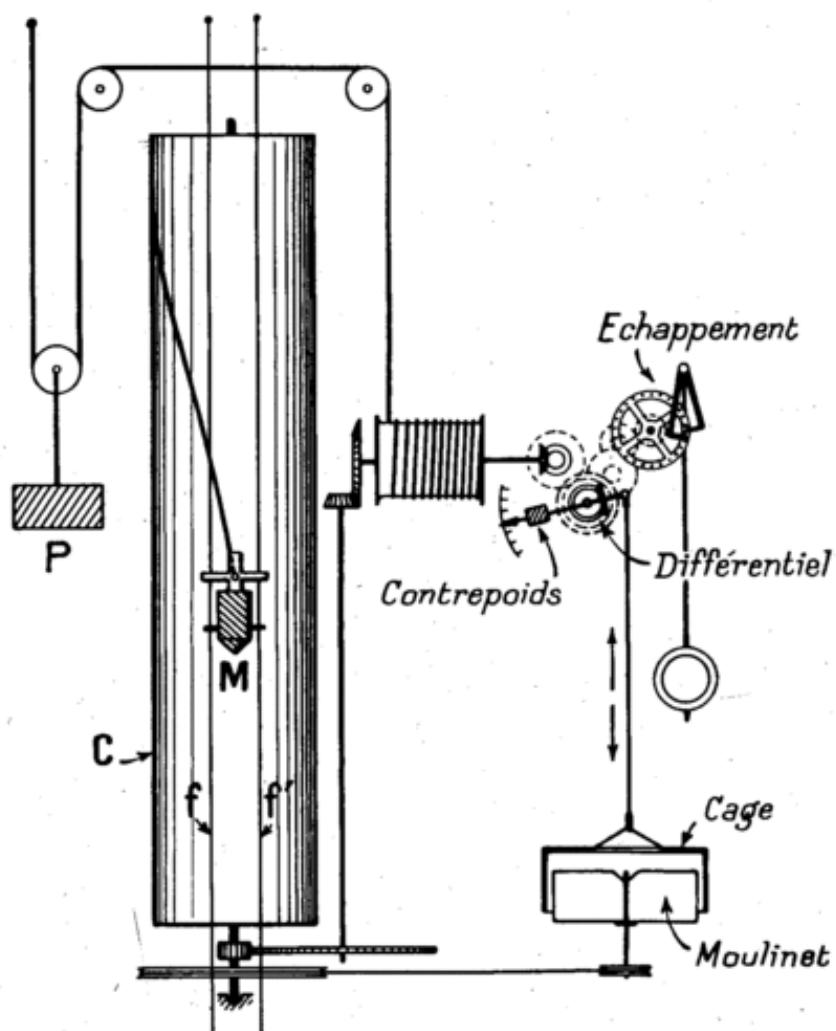


Fig. 13. — Grande machine Morin  
(schéma).

le devant de l'appareil est disposé une poulie qui permet de réaliser des expériences analogues à celles exécutées avec la machine d'Atwood; ce dispositif est complété par un anneau mobile, fixé sur l'un des montants de l'appareil; placé dans la position convenable, il libère le poids en chute de ses surcharges additionnelles.

8.005. — E. 1807.

9. APPAREIL DU GÉNÉRAL MORIN, *par Clair.*

Cet appareil est analogue au précédent; le cylindre est en cuivre, on peut donner aux ailettes du moulinet une inclinaison variable pour régler la vitesse de rotation. La chute d'un corps n'est étudiée avec cet appareil que dans son mouvement descendant, car il n'y a pas d'arbalète.

8.288. — E. 1871.

10. PETIT CONE DOUBLE, *remontant en apparence sur un plan incliné.*

Deux cônes accolés par leur base reposent horizontalement sur deux plaques verticales. Les arêtes supérieures de ces plaques sont inclinées sur l'horizontale et se rencontrent à leur point le plus bas. Lorsque le mobile est placé vers le sommet du V ainsi formé, il se met à rouler et semble remonter la pente. En réalité son centre de gravité descend du fait de sa forme conique.

1.442. — E. 1807.

11. APPAREIL DE DÉMONSTRATION *du mouvement relatif par Digeon.*

Provenant du cours de géométrie appliquée aux arts.

Cet appareil comprend un chariot roulant sur des rails (fig. 14).

La première partie du trajet comporte une rampe le long de laquelle le chariot prend une certaine vitesse, qu'il conserve pratiquement pendant le reste de sa course.

Le chariot est surmonté d'un entonnoir dont la partie évasée est ouverte vers le haut : au fond de cet entonnoir se trouve un support qui repose sur un ressort et sur lequel on peut placer une bille.

Pendant la première partie du trajet AB, le mécanisme exté-

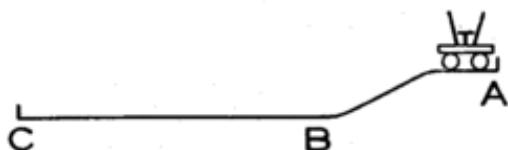


Fig. 14. — Appareil de Digeon.  
(10.528).

rieur du chariot, commandé par le mouvement des roues, comprime le ressort. En B le ressort est brusquement détendu; la bille est alors projetée verticalement pendant que le chariot accomplit le trajet BC. On observe que la bille reste constamment au-dessus de l'entonnoir. L'appareil permet de constater que la trajectoire de la bille, pour un observateur qui se déplacerait avec le chariot (trajectoire relative), est un segment de droite vertical; mais la trajectoire pour un observateur qui voit passer le chariot (trajectoire absolue) est un arc de parabole.

**10.528.** — E. 1885.

## AUX RÉSERVES

### 1. CONE DOUBLE.

**1.441.** — E. 1807.

### 2. SPHÈRE CREUSE A AILETTES et sphère solide pour mesurer la résistance des milieux, avec chariot pour les porter.

**1.498<sup>1 2 3</sup>.** — E. 1807.

### 3. APPAREIL POUR L'ÉTUDE de la chute d'un mobile suivant les cordes d'un cercle.

**1.432.** — E. 1807.

## PENDULES

G A 2-2

### PENDULE CIRCULAIRE.

Un corps quelconque qui peut tourner autour d'un axe horizontal prend un mouvement pendulaire lorsqu'on l'abandonne à lui-même après l'avoir écarté de sa position d'équilibre; cette position est celle pour laquelle la verticale de son centre de gravité rencontre l'axe de suspension.

Il est commode pour étudier le mouvement pendulaire de considérer au lieu d'un corps quelconque un pendule fictif qu'on nomme *pendule simple*. Celui-ci consiste en un point matériel pesant, suspendu à l'extrémité d'un fil inextensible, sans poids, n'exerçant aucun frottement sur son point d'appui. Si on écarte le point matériel de sa position d'équilibre et qu'on l'abandonne sans vitesse, il est soumis à son poids  $P$ , force qu'on peut décomposer en deux autres forces dirigées, l'une  $N$  dans le prolongement du fil, l'autre  $T$  perpendiculairement à la première (fig. 15). La première composante a pour effet de tendre le fil, la seconde de ramener le pendule à sa position d'équilibre. Cette dernière force est variable à chaque instant, en grandeur et en direction; elle s'annule au passage du pendule à sa position d'équilibre; mais à cet instant la vitesse du pendule atteint son maximum. Ce point matériel dépasse donc sa position d'équilibre et poursuit sa trajectoire jusqu'au point symétrique de son point de départ par rapport à la position d'équilibre. A ce moment, la vitesse étant nulle, le pendule se retrouve dans les mêmes conditions qu'au départ; le même mouvement se répète en sens inverse.

Les lois du pendule simple ont été énoncées par Galilée :

1<sup>o</sup> La période d'oscillation d'un pendule est indépendante de l'amplitude si cette amplitude ne dépasse pas quelques degrés (isochronisme des petites oscillations);

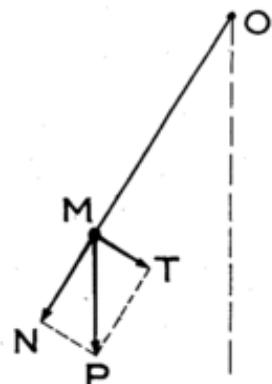


Fig. 15.— Pendule circulaire (théorie).

2<sup>o</sup> La période est proportionnelle à la racine carrée de la longueur, mais indépendante de la substance et par suite de la masse du point qui oscille.

Les lois du pendule simple s'appliquent dans certaines conditions aux pendules ordinaires qu'on désigne sous le nom de *pendules composés*; leurs petites oscillations sont isochrones. Le pendule théorique ayant même période qu'un pendule composé est dit pendule simple synchrone de ce pendule; il est facile de calculer sa longueur. Si on la porte sur le pendule composé à partir de l'axe de suspension et vers le bas, on détermine un point dit centre d'oscillation du pendule composé. Ce point possède plusieurs propriétés importantes découvertes par Huygens.

Dans le mouvement du pendule, ce point oscille comme si tout le reste du corps étant supprimé, il subsistait seul, relié à l'axe et possédant une masse égale à la masse totale; les points les plus rapprochés de l'axe oscillent moins vite, les points les plus éloignés oscillent plus vite que si chacun d'eux était seul.

Le centre de gravité est toujours situé entre ce point et le point de suspension.

Enfin si on fait osciller le pendule autour de l'axe horizontal passant par ce point, la période du nouveau pendule est la même que celle observée précédemment; il y a réciprocité du centre de suspension et du centre d'oscillation (voir le pendule réversible n° 10.912).

Le pendule composé a reçu de nombreuses applications dont les principales sont *la mesure de l'intensité de la pesanteur*, la démonstration expérimentale de la rotation de la terre et la régulation des horloges.

### PENDULE SPHÉRIQUE.

Le *pendule sphérique* ou *pendule conique* est constitué par une petite masse située à l'extrémité d'une barre ou d'un fil inextensible, lié à un point fixe par une articulation sphérique. La vitesse initiale n'étant pas dirigée dans le plan vertical défini par le fil écarté de sa position d'équilibre, le centre de gravité de la masse décrit une courbe tracée sur la sphère ayant le point de suspension pour centre et la longueur du fil pour rayon. Dans le cas général, la trajectoire est une courbe située entre deux parallèles qu'elle touche alternativement. La projection de cette courbe sur le plan horizontal a un aspect analogue à celui du mouvement d'un point lorsqu'il est soumis à une force centrale; suivant les conditions initiales du moment, les deux parallèles limites ou un seul appartiennent à l'hémisphère inférieur.

## PENDULE PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES

G A 2-21

### 1. APPAREIL dit PENDULE DE GALILÉE à trois boules.

Cet appareil est composé d'un bâti sur lequel sont fixés trois pendules de longueurs différentes; ces pendules se rapprochent le plus possible du pendule simple, chacun d'eux est constitué par une boule d'ivoire suspendue au bâti par un fil. Cet appareil permet de vérifier les lois du pendule données par Galilée. Si on écarte l'une des boules de sa position d'équilibre et si on l'abandonne sans vitesse initiale, on constate que les oscillations ont lieu dans un plan. L'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs de la boule au même point, dans le même sens, est constant quelle que soit l'amplitude des oscillations, sous réserve qu'elle ne soit pas trop grande; cet intervalle de temps s'appelle la période du pendule. Si on compare les périodes aux longueurs des pendules, on constate que la période varie comme la racine carrée de la longueur.

4.320. — E. 1849.

### 2. SUPPORT A TROIS PENDULES dits pendules de GALILÉE.

Chaque pendule est constitué par une boule suspendue au bâti par deux fils d'égale longueur. Le centre du pendule est astreint à osciller dans le plan médian de l'angle formé par les fils de suspension. On fait sur ces pendules les mêmes observations qu'avec l'appareil précédent, à condition de prendre comme longueur de pendule la distance du centre de la boule au support horizontal.

2.843. — E. 1843.

### 3. PENDULE CYCLOÏDAL DE HUYGENS (fig. 16).

Cherchant à remédier au défaut d'isochronisme des pendules, Huygens trouva que les périodes d'oscillations de deux pendules

d'égale longueur, quelle que soit leur amplitude, seraient parfaitement égales si le centre de gravité de ces pendules décrivait une cycloïde et non un cercle.

Pour réaliser ce mouvement, Huygens a imaginé un appareil

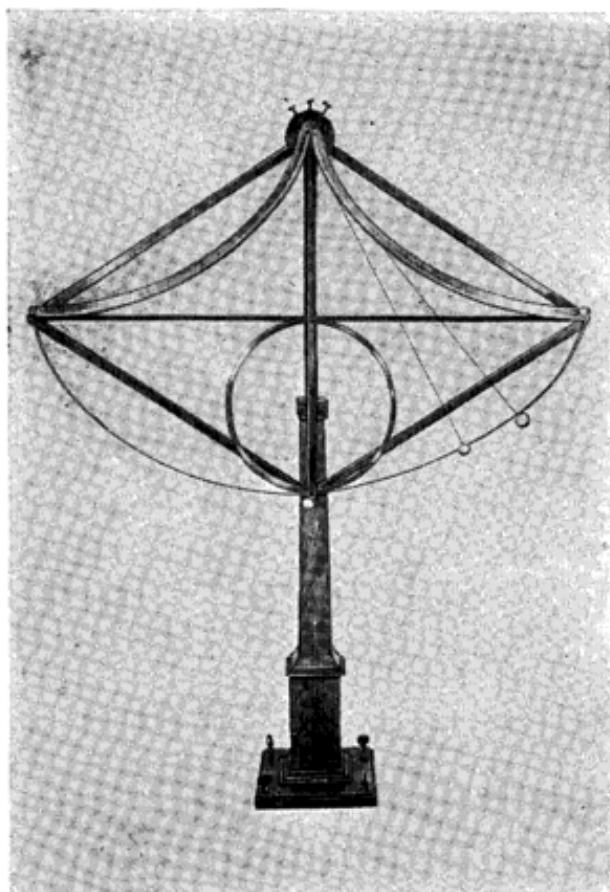


Fig. 16. — Pendule cycloïdal de Huygens (1434).

dans lequel AC et AD sont des gouttières ayant la forme d'un arc de cycloïde (fig. 17). Les pendules sont suspendus en A par un

fil de soie qui vient s'appliquer progressivement le long de AC, puis le long de AD; dans ces conditions, les pendules parcourent la courbe CDB qui n'est autre que la cycloïde engendrée par le point B quand le cercle O roule sur la droite CD. AC et AD sont des arcs de cycloïdes tous deux égaux et identiques à l'arc DB.

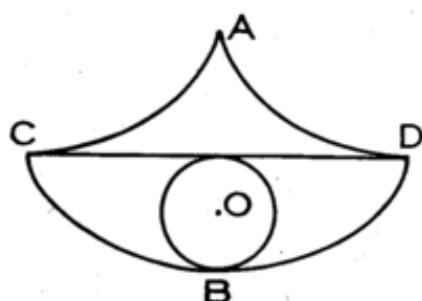


Fig. 17. — Pendule cycloïdal de Huygens (schéma).

en B la première fois, leur position coïncide toujours en B,

même s'ils décrivent des portions inégales de l'arc ACB. Ils sont rigoureusement isochrones.

Un troisième pendule circulaire oscillant en avant des gouttières cycloïdales permet de comparer le mouvement des pendules cycloïdaux à celui d'un pendule ordinaire.

1.434. — E. 1807.

4. *RÈGLE, CALIBRE et ÉCHELLE du pendule de GRAHAM, déposé à l'Académie des sciences par de Lisle le 26 avril 1766.*

Don de l'Académie des sciences,

8.068. — E. 1866.

5. *PENDULE RÉVERSIBLE, construit par A. REDIER.*

Achat.

Ce pendule permet de vérifier la réversibilité de l'axe de suspension et du centre d'oscillation.

10.912. — E. 1887.

6. *RÉGULATEUR ÉLECTRIQUE DE BOURBOUZE.*

Don de M<sup>me</sup> Bourbouze.

L'appareil inventé et construit par Bourbouze se compose d'un pendule, à la partie supérieure duquel est fixé un barreau aimanté qui peut osciller librement à l'intérieur d'une bobine électrique plate à deux fils, semblable à celle d'un galvanomètre à fléau.

Pour entretenir le mouvement du pendule, il suffit de faire passer dans la bobine, à chaque oscillation simple, un courant d'intensité constante, mais de sens alternativement contraire. Pour opérer ce changement d'une manière régulière, on se sert d'un petit fléau en cuivre, dont le centre de gravité est très élevé au-dessus du point de suspension; ce petit fléau porte, à chacune de ses extrémités, un petit pont, qui, en tombant alternativement dans deux godets contenant du mercure, ferme le circuit d'une pile de Daniell. Le courant agit par influence sur le barreau aimanté et lui donne une impulsion qui se transmet au balancier. Pour obtenir le mouvement de bascule du fléau interrupteur, on a fixé sur le balancier une fourchette, dont les deux branches sont perpendiculaires au plan d'oscillation. Chacune d'elles est munie d'une petite vis, dont l'axe est parallèle à ce plan. On peut régler à volonté l'écartement de ces petites vis, qui viennent heurter le fléau interrupteur à chaque oscillation simple.

Il est facile d'obtenir, sans commutateur, l'inversion du courant à chaque oscillation, en fixant deux fils aux pôles de la pile qui seront en opposition dans les deux fils de la bobine.

11.585. — E. 1869.

## COMPOSITIONS DE MOUVEMENTS PENDULAIRES

G A 2-22

### 1. RESSORT DE WILBERFORCE montrant la composition des oscillations longitudinales et de torsion.

Provient du Cours des machines.

Un ressort à boudin est fixé verticalement à un support par son extrémité supérieure. Son extrémité inférieure porte une masse sur laquelle on peut disposer quatre autres petites masses auxiliaires plus ou moins éloignées de l'axe du ressort. Cet appareil sert à deux expériences :

1<sup>o</sup> Si on crée une oscillation verticale en abaissant la masse, puis en la lâchant, on constate que celle-ci prend peu à peu une oscillation de torsion autour de son axe vertical. L'amplitude du mouvement augmente, passe par un maximum, puis s'annule, etc. Pendant le même temps, l'amplitude de l'oscillation verticale subit une variation opposée, elle diminue, passe par un minimum, puis augmente. Par réglage de la distance des masses auxiliaires à l'axe, on peut arriver à rendre nul ce minimum d'amplitude de l'oscillation verticale.

2<sup>o</sup> On observe un phénomène tout à fait analogue en imprimant d'abord à la masse un mouvement d'oscillation de torsion autour de son axe.

On exprime ces résultats expérimentaux en disant que l'énergie totale transmise au système par la première déformation se répartit suivant une loi périodique entre les deux mouvements vibratoires.

14.429. — E. 1912.

2. COLLECTION DE 9 PHOTOGRAPHIES relatives aux études sur la composition des mouvements exécutés, par Jean et Louis Lecarme en 1896 et comprenant :

Don de MM. J. et L. Lecarme.

- 1° Un appareil expérimental (une épreuve);
- 2° Diagrammes se rapportant aux études de MM. Jean et Louis Lecarme sur la composition des mouvements pendulaires (8 épreuves).

L'appareil de MM. Lecarme constitué par un pendule suspendu à la cardan, supportant un plateau horizontal qu'il entraîne dans ses oscillations et sur lequel est placée une plaque de verre enfumé. Un style léger appuie sa pointe sur la plaque de verre et donne ainsi une réalisation graphique du mouvement du pendule. Le support du style peut être fixe ou bien être constitué par un deuxième pendule placé dans le voisinage du premier. On peut combiner les mouvements de deux pendules rectilignes rectangulaires et obtenir des courbes de Lissajoux, ou combiner un pendule rectiligne avec un pendule conique, ou encore deux pendules coniques, les courbes obtenues sont de plus en plus complexes. Elles servent à vérifier les lois des mouvements des pendules et la loi de l'amortissement ou à résoudre graphiquement des problèmes relatifs aux vibrations sinusoïdales amorties et leurs combinaisons.

12.914. — E. 1896.



## **APPLICATION DU PENDULE A LA DÉMONSTRATION PHYSIQUE DE LA ROTATION DE LA TERRE**

G A 2-23

La théorie montre que le plan d'oscillation d'un pendule change à cause du mouvement de rotation de la terre. Si l'on pouvait établir au pôle un pendule dont le point de suspension soit exactement dans le prolongement de l'axe de rotation du globe terrestre, le plan d'oscillation de ce pendule restant invariable en direction, on constaterait que ce plan semble exécuter en vingt-quatre heures une révolution complète autour du prolongement de l'axe, c'est-à-dire reste immobile dans l'espace, la terre tournant au-dessous de lui. La durée de cette révolution augmente avec la latitude du lieu où l'expérience est effectuée. Elle est de 32 heures environ à Paris; à l'équateur le plan d'oscillation reste fixe.

Léon Foucault a réalisé à partir de 1851 une série d'expériences qui mettaient en évidence ce phénomène et qui démontraient physiquement le mouvement de rotation de la terre. Les pendules de Foucault étaient constitués essentiellement d'une sphère pesante façonnée de telle sorte que son centre de gravité coïncide avec son centre géométrique. Cette sphère est suspendue à un point fixe par un fil d'acier rond dont l'extrémité se dégage d'une masse d'acier trempé. Cette dernière est encastrée dans une pièce en fonte elle-même scellée au sommet d'une voûte, sa surface inférieure est parfaitement horizontale.

Le pendule semble passer, à chaque oscillation par la verticale du point de suspension, mais en réalité il décrit une ellipse aplatie et cette ellipse tourne autour de son centre avec une vitesse angulaire uniforme proportionnelle au sinus de la latitude du lieu où l'expérience est faite.

Foucault exécuta d'abord, au mois de février 1851, une expérience dans une cave, avec un pendule de 2 m de long supportant une sphère de 5 kg. Grâce à Arago, il put ensuite installer à l'Observatoire, dans la salle de la méridienne, un pendule de 11 m. Le prince Bonaparte, pré-

sident de la République, lui demanda de réaliser une démonstration publique qui eut lieu au Panthéon au mois de mars de la même année; le fil du pendule avait 67 m de long, la boule pesait 28 k.

L'expérience fut réalisée à nouveau à l'Exposition universelle de 1855; les oscillations étaient alors entretenues par un appareil électromagnétique.

**1. BOULE DU PENDULE DE FOUCAULT ayant servi à l'expérience du Panthéon en 1851.**

Don de M. Denys Foulc.

Cette boule est constituée par une enveloppe de cuivre renfermant une masse de plomb. Elle pèse 28 kg. Elle porte à sa partie

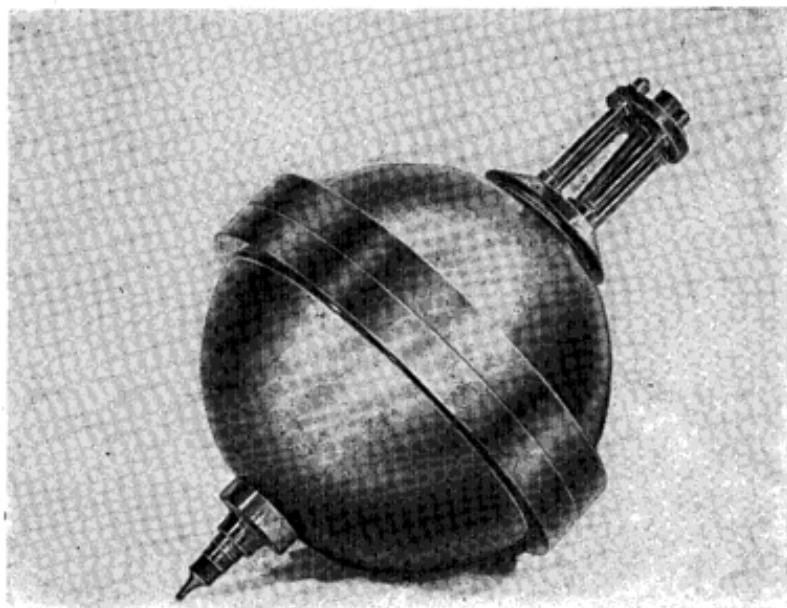


Fig. 18. — Boule du pendule de Foucault (12.658).

inférieure une pointe disposée dans le prolongement du fil de suspension.

Pour faciliter l'observation du mouvement, un cercle gradué était disposé sur une table en-dessous du pendule; un grand cercle de 6 m de diamètre entourait la table et était divisé en degrés et quarts de degrés. Enfin, pour rendre l'expérience plus visible, on avait disposé sur le rebord du grand cercle deux bancs de sable humide sur lesquels la pointe du pendule venait pratiquer une brèche s'élargissant continuellement vers la gauche de l'obser-

vateur. La déviation du plan d'oscillation était de un degré en cinq minutes. La durée d'une oscillation était de 8,21 secondes.

Malgré la masse et la faible vitesse du pendule les oscillations s'amortissaient en six heures environ; le plan d'oscillation avait dévié de  $70^{\circ}$  à peu près.

**12.658.** — E. 1894.

## 2. PENDULE DE FOUCault — 1855.

Don de M. Foucault.

Ce pendule est celui qui était installé à l'Exposition universelle de 1855.

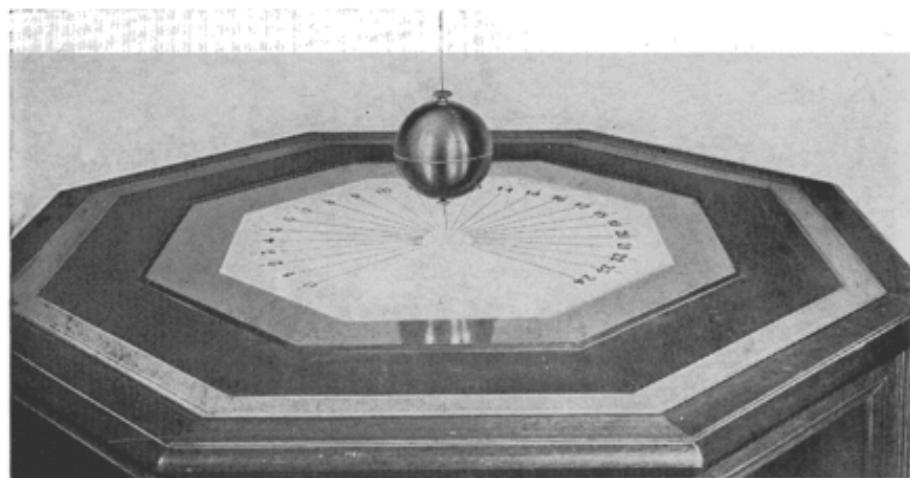


Fig. 19. — Pendule de Foucault, 1855.

selle de 1855. Il est monté dans l'Église du Conservatoire où l'expérience est renouvelée quotidiennement.

**8.042.** — E. 1869.

## 3. PENDULE DE L. FOUCault — 1851.

Don de M. L. Foucault.

La boule de ce pendule est constituée par une sphère d'acier. Elle est accompagnée des systèmes d'attache du fil à la voûte et de suspension de la sphère au fil.

**8.224.** — E. 1869.

**4. APPAREIL ÉLECTROMAGNÉTIQUE pour entretenir le mouvement du pendule de Foucault.**

Don de L. Foucault.

Cet appareil a été adjoint au pendule de Foucault dans la démonstration de 1855; placé à la verticale du point de suspension du pendule, il servait à entretenir les oscillations sans nuire à la liberté du mouvement.

Il se compose essentiellement d'un électro-aimant qui attire un cylindre de fer doux placé dans la sphère du pendule. Pendant les mouvements descendants de la sphère le pendule est ainsi attiré vers le centre et soumis à une impulsion à chaque demi-oscillation. Au moment où la sphère passe par son point le plus bas, l'électro-aimant est soulevé par l'attraction magnétique exercée par le fer doux de la sphère. Ce mouvement provoque la rupture du courant dans les bobines. Lorsque la sphère s'éloigne, l'électro-aimant redescend sur son ressort, son mouvement est retardé par un petit régulateur pour que le circuit reste ouvert pendant toute la durée de la demi-oscillation ascendante, et se trouve prêt à fonctionner à nouveau pour le passage descendant suivant.

**8.043. — E. 1869.**

**5. APPAREIL DE SYLVESTRE représentant les durées de rotation apparente du plan d'oscillation du pendule de Foucault.**

Don de M. Foucault.

Cet appareil est destiné à mettre en évidence les diverses apparenances que présente la déviation du plan d'oscillation du pendule selon les latitudes. Une sphère de 30 cm de diamètre est schématisée par un méridien et son axe. Le méridien tourne autour de son axe vertical, il provoque la rotation d'une surface circulaire disposée tangentielle à lui. Ce petit cercle représente le lieu où le pendule est supposé osciller; grâce à un dispositif à crémaillère, il peut se déplacer le long du méridien depuis le pôle nord jusqu'au 40<sup>e</sup> degré de latitude sud. Au-dessus de lui et dans le prolongement d'un des axes du méridien est figuré au moyen de deux petites tiges métalliques le plan dans lequel oscille le pendule de Foucault. L'angle formé par ces tiges peut pivoter autour de l'axe de la sphère et sa rotation est liée à celle de la sphère, comme l'est apparemment celle du plan du pendule à la rotation de la terre.

**8.044. — E. 1869.**

## 6. DÉVIOSCOPE DE G. SIRE.

Don de M. Sire.

L'instrument est destiné, comme le précédent, à donner une vérification de la loi de Foucault, d'après laquelle la déviation du plan d'oscillation du pendule est proportionnelle au sinus de la latitude du lieu où l'expérience est effectuée. L'appareil se compose d'une sphère en métal supportée par un trépied. Une armature cintrée sert de support à un petit système d'engrenage au sommet duquel sont placées deux tiges métalliques munies chacune d'une petite boule en laiton et figurant le plan d'oscillation du pendule de Foucault. La sphère restant constamment fixe et l'armature étant articulée en son milieu, le petit pendule peut être placé aux diverses latitudes de la sphère. Tout l'assemblage peut tourner autour de l'axe vertical supportant la sphère. On peut répéter avec cet appareil les expériences faites avec l'appareil de Sylvestre.

18.630<sup>1-2</sup>. — E. 1946.

## AUX RÉSERVES

1. SUPPORT avec quatre pendules de longueurs égales dont les boules sont de poids différents.

8.483. — E. 1872.

2. BOULES CREUSES et support provenant des collections de Viviani.

8.952. — E. 1878.

3. GLOBE TERRESTRE sur lequel sont figurées les orientations successives du plan d'oscillation du pendule de Foucault.

8.045. — E. 1869.

## MOUVEMENTS DE ROTATION FORCE CENTRIFUGE

G A 2-3

1. APPAREIL A DISQUE TOURNANT DE A. MORIN pour l'observation des lois du mouvement, par Wagner.

L'appareil se compose essentiellement d'un plateau en laiton animé d'un mouvement uniforme de rotation autour d'un axe

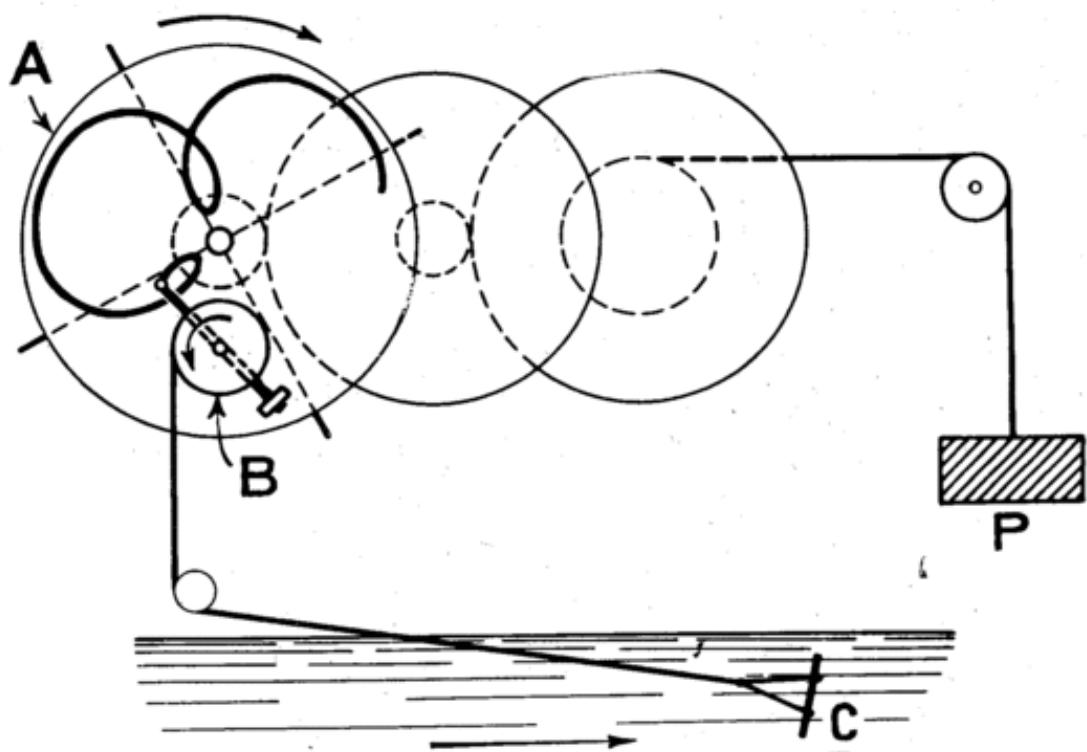


Fig. 20. — Appareil à disque tournant (2.603).

horizontal entraîné par un moteur à poids dont le mouvement est régularisé par un moulinet à ailettes (fig. 20). En face du plateau et parallèlement à lui est disposée une poulie portant un crayon qu'elle entraîne dans son mouvement. Le crayon appuie sur une feuille de papier fixée sur le plateau. Le corps dont on veut étu-

dier le mouvement est relié par un fil à la poulie et la fait tourner en se déplaçant. Le crayon décrit alors devant le plateau un mouvement de rotation. La courbe qu'il inscrit sur la feuille de papier dépend à la fois de la vitesse de rotation du plateau et du déplacement du mobile étudié. Elle peut être transformée en une courbe à coordonnées rectangulaires habituellement utilisées.

2.603. — E. 1840.

*2. INSTRUMENT DU GÉNÉRAL DIDION par Breguet pour relever les courbes de l'appareil à disque tournant de Morin.*

Le relevé de la courbe obtenue au moyen de l'appareil du général Morin (n° 2603) donne la relation entre le nombre de tours de poulie et le nombre de tours décrits par le plateau. Pour exécuter ce relevé, le général Didion a imaginé cet appareil constitué par un plateau semblable à celui de l'appareil de Morin et sur lequel on transporte la feuille de papier. Une alidade en se déplaçant sur la circonférence entraîne une tige métallique fixée au centre du disque qui balaye la surface de la feuille : cette tige porte un petit disque, muni de fenêtres et de picots, qui permet de diviser chaque tour de poulie en dix parties égales. Le limbe sur lequel se compte le nombre de tours du plateau est divisé en mille parties égales, chaque division correspond à un deux millième de seconde.

2.849. — E. 1843.

*3. SUPPORT A VIS DE PRESSION pour montrer les effets de la force centrifuge sur les solides et les liquides.*

Cet appareil est composé essentiellement d'une tige métallique AB sur laquelle est enfilée une petite bille de billard (fig. 21 A).

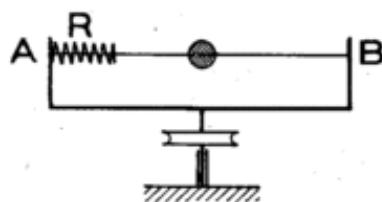


Fig. 21 A.



Fig. 21 B.

Support à vis de pression (1.425).

La tige métallique est disposée horizontalement sur un support dont l'axe vertical peut être animé d'un mouvement de rotation.

Lorsque l'appareil est mis en mouvement, la tige tourne dans

le plan horizontal; la bille entraînée par la force centrifuge s'éloigne du centre de rotation. Cette force est mesurée à l'aide du dynamomètre R placé à l'extrémité de la tige.

La tige AB peut être remplacée par un ensemble formé de deux tubes de verre de longueurs égales, semblablement inclinés vers le centre de rotation (fig. 21 B). Ces tubes renferment un liquide ou des boules légères de moelle de sureau. Pendant la rotation, le liquide ou les boules se déplacent vers les parties les plus hautes des tubes, sous l'effet de la force centrifuge. Cet appareil peut se fixer sur l'appareil n° 1420 servant à étudier la transmission du mouvement par le choc.

1.425. — E. 1807.

#### *4. APPAREIL A FORCE CENTRIFUGE pour expliquer expérimentalement l'aplatissement de la terre vers les pôles.*

Deux ressorts d'acier sont réunis par leurs extrémités à un axe vertical de façon à représenter par leur courbure les méridiens d'une sphère. L'attache supérieure est constituée par un anneau qui peut coulisser le long de l'axe. Lorsqu'on imprime à l'axe un mouvement de rotation sur lui-même, on constate que le sphéroïde ainsi schématisé se renfle à l'équateur et s'aplatit aux pôles. Les deux ressorts étant de longueurs invariables, leur extrémité supérieure s'abaisse le long de l'axe de rotation sous l'effet de la force centrifuge qui tend à faire croître le diamètre horizontal. Cette déformation s'accentue lorsque la vitesse de rotation croît.

4.171. — E. 1849.

#### *5. APPAREIL DE PLATEAU.*

Au centre d'une boîte de verre fermée, un petit disque métallique, disposé horizontalement, peut être animé d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe vertical. On introduit dans la boîte un fluide opaque, tel de la fumée; en faisant tourner le disque on reproduit le phénomène de formation de l'anneau de Saturne.

9.943. — E. 1883.

### AUX RÉSERVES

#### *1. APPAREIL ROTATIF DE BULFINGER.*

1.864. — E. 1807.

## GYROSCOPIE

G A 2-4

On connaît depuis longtemps certaines particularités du mouvement des corps solides de révolution (tout spécialement de ceux dont les moments d'inertie principaux sont très différents) animés d'une rotation rapide autour de leur axe de révolution; les intéressantes propriétés de ces corps ne furent ni étudiées ni utilisées avant le XIX<sup>e</sup> siècle.

L'étude fait intervenir la composition de mouvements; elle n'était donc guère possible avant les travaux de Coriolis (au XIX<sup>e</sup> siècle) sur la composition des accélérations du mouvement relatif.

Bohnenberger aborda l'étude de ce mouvement en 1817, mais c'est à Léon Foucault que revient tout le mérite de la mise en évidence des propriétés susceptibles d'applications, nombreuses de nos jours et dans divers domaines. Vers 1850, Foucault dans une expérience célèbre rendit apparente la rotation de la terre, sans recourir aux observations astronomiques, au moyen d'un solide tournant qu'il appela « gyroscope », c'est-à-dire « appareil permettant de déceler une rotation ». Peu après fut établie la théorie de l'effet gyrostatique qui explique en particulier la dérivation des projectiles lancés par des bouches à feu rayées.

Le terme *gyrostat* préconisé par W. Thomson désigne tout corps solide de révolution animé autour de son axe d'une vitesse de rotation très grande par rapport à celles qu'il peut prendre du fait de ses liaisons; l'axe d'un tel mobile acquiert, ainsi que l'avait déjà constaté Foucault, une stabilité d'orientation d'autant meilleure que sa rotation est plus rapide. La toupie est un modèle simple de gyrostat.

Une toupie en rotation dont l'axe repose par sa pointe sur un plan horizontal semble immobile (toupie dormante) si son axe est vertical, car il conserve cette direction. S'il est oblique, il prend par rapport à la verticale passant par la pointe constamment en contact avec le même point du plan horizontal un mouvement complexe résultant en général d'un mouvement dans lequel cet axe décrit un cône de révolution (*précession*) et d'un mouvement ondulatoire perpendiculaire au précédent

(*nutation*). L'amplitude du second mouvement est faible par rapport à celle du premier. Le sens du mouvement de précession dépend de la position du centre de gravité du gyrostat par rapport au point d'appui et non du sens de la rotation du corps autour de son axe de symétrie.

L'effet gyroscopique d'une toupie en rotation se manifeste dans les cas où le mouvement est perturbé. L'application d'une force en un point de l'axe du gyrostat a pour effet de déplacer celui-ci, non pas dans la direction de la force comme cela aurait lieu pour un corps solide au repos, mais dans une direction perpendiculaire au plan défini par la force et l'axe de symétrie. Une toupie étant montée dans une armature, si on imprime à celle-ci une rotation, l'axe de la toupie réagit sur l'armature perpendiculairement à la direction dans laquelle elle se meut; s'il s'agit d'une suspension de Cardan dont l'armature extérieure est entraînée, le gyrostat se déplace jusqu'à ce que son axe soit parallèle à celui autour duquel tourne l'armature. Ce phénomène a reçu le nom de « tendance au parallélisme des axes de rotation ».

La simple toupie ne permet pas de mettre en évidence toutes les propriétés du gyrostat. Foucault a imaginé un dispositif mécanique réalisant un solide ayant un point fixe (suspension de Cardan). Avec ce dispositif, il mit en lumière les propriétés fondamentales du mouvement gyroscopique : la fixité de l'axe de rotation par rapport aux étoiles et celles, si précieuses pour la navigation, qu'il a ainsi énoncées : « sans le secours d'aucune observation astronomique, la rotation d'un corps à la surface de la terre suffit à indiquer le plan du méridien et la latitude du lieu. » Par la seule fixation de l'un des anneaux de la suspension, Foucault obtint que l'axe se meute seulement dans un plan horizontal ou dans un plan vertical. Après quelques oscillations, cet axe se dirige suivant la ligne nord-sud dans le premier cas, parallèlement à l'axe de la terre dans le second cas; ce fait résulte de l'action des forces d'inertie complémentaires dues à la rotation de la terre (forces de Coriolis). La position de l'axe indique donc soit la méridienne géographique, soit la latitude (angle de l'axe de la terre avec l'horizon du lieu). Deux gyrostats convenablement montés remplacent ainsi, pour la détermination du point, une boussole d'inclinaison et une boussole de déclinaison qui d'ailleurs ne fournissent qu'indirectement les directions lisibles sur les gyrostats.

On lance les toupies en roulant l'axe entre le pouce et l'index ou en déroulant une cordelette disposée en hélice serrée sur la surface aboutissant à la pointe. Pour les gyrostats on utilise la commande par fluide (toupie de l'horizon gyroscopique de l'amiral Fleuriel, 1866, torpille Whitehead, gyroscopes aéronautiques), la commande électrique ou

enfin on entretient ce mouvement par un moteur électrique. Dans les applications actuelles où l'amplitude de la nutation est infime, le gyrostat est constitué par un volant fixé au rotor d'un moteur électrique tournant à grande vitesse : 8.000 à 20.000 tours/minute.

Dans les applications du gyrostat on utilise tout particulièrement sa propriété de ramener son axe dans sa direction primitive d'orientation lorsqu'il en a été écarté. Les gyrocompas, perfectionnements du gyroscope de Foucault, remplacent les boussoles que l'emploi du fer et de l'acier dans la construction des navires ou l'utilisation des courants électriques en aviation rend difficilement utilisables. Outre le rôle qu'il joue pour la détermination du point astronomique, le gyrocompas est encore l'organe essentiel du « traceur de route » (une pointe fixe écrit sur une carte dont l'orientation est soumise au gyrocompas et dont le déplacement est proportionnel à la vitesse du navire) et du « gyropilote » réalisant le pilotage automatique (un gyrocompas commande les organes de direction, gouvernail du navire ou gouvernes de l'avion, pour assurer un cap constant). Dans la torpille Whitehead, un petit gyrostat déclenche un dispositif à air comprimé qui actionne le gouvernail pour corriger le cap lorsque la torpille a fait une embardée. Le pilotage automatique des aéroplanes est basé sur le même principe, avec commande électrique des organes à manœuvrer. Pour la stabilisation des navires, c'est l'inertie du gyrostat qui est utilisée pour modifier la période des oscillations du navire afin d'éviter leur synchronisme avec la houle (système Schlick) ou s'opposer systématiquement au roulis par un mouvement de précession imposé (système Sperry).

### *1. GYROSCOPE DE BOHNENBERGER.*

Don de la famille Breguet.

C'est le premier en date des appareils gyroscopiques : un tore en bronze T est placé au centre de trois anneaux concentriques (fig. 22). L'anneau intérieur A supporte le tore par les extrémités de son axe; il est lui-même supporté selon un axe perpendiculaire à l'axe du tore par l'anneau du milieu B. Enfin celui-ci est supporté à son tour par l'anneau extérieur C selon un axe perpendiculaire au plan des deux premiers axes, lorsque l'axe du tore est horizontal. Le tore et les deux anneaux A et B peuvent pivoter librement autour de leur axe de suspension, l'anneau C est fixé verticalement au support. On a ainsi réalisé une suspension à la Cardan. Si le centre de gravité du tore coïncide avec le point d'intersection des trois axes, on dispose d'un solide mobile autour de son centre de gravité, qui est fixe. Dans ces conditions,

lorsqu'on imprime un mouvement de rotation rapide au tore autour de son axe maintenu immobile, et qu'on abandonne l'appareil à lui-même sans impulsion, l'axe du tore reste immobile.

Si l'on fixe sur l'axe du tore une petite masse additionnelle M, le centre de gravité est déplacé par rapport au centre de rotation. Dans ces conditions, l'anneau B prend lui-même un mouvement de rotation autour de son axe de suspension qui est vertical et l'axe du tore prend une inclinaison sensiblement constante sur cette verticale, pour les raisons expliquées précédemment.

Le mouvement de précession, lent et régulier, de l'anneau B a lieu dans un sens qui dépend de la position du centre de gravité du gyroscope par rapport à l'axe de liaison du gyrostat à son support : le sens est changé si on place M en une position diamétralalement opposée de celle qu'elle occupe. La nutation ne devient sensible que lorsque le frottement a suffisamment diminué la vitesse angulaire du tore autour de son axe.

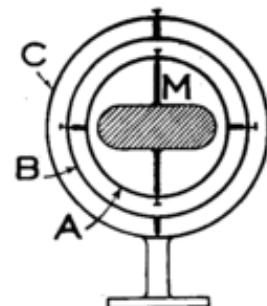


Fig. 22. — Gyroscope de Bohnenberger (11.806).

11.806. — E. 1889.

## 2. GYROSCOPE DE FOUCAULT avec ses accessoires, par Dumoulin-Froment.

Exposition de 1867.

L'appareil consiste en un tore en bronze dont l'axe est monté dans une double suspension à la Cardan (fig. 23). Soit AA' l'axe du premier anneau suspenseur perpendiculaire au plan du tore; BB' le diamètre du deuxième anneau, perpendiculaire à AA'. En B et en B' des couteaux d'acier reposent sur des plans d'agathe enclavés dans l'anneau B. L'arête des couteaux représente l'axe horizontal de rotation de l'anneau A.

L'anneau B est suspendu par un fil sans torsion en C au sommet du bâti de l'appareil; il repose en C' par une pointe sur un coussinet, ce mode de suspension lui assure une parfaite mobilité autour de la droite CC'.

Des vis de réglage, sur les pièces mobiles permettent de faire coïncider le centre de gravité avec le point d'intersection commun des axes AA', BB', CC'. Le tore se comporte ainsi comme un solide offrant un point fixe et soustrait à l'action de la pesanteur.

Pour imprimer au tore une rotation très rapide, Foucault séparait la toupie gyroscopique de sa chape et la plaçait sur un appareil muni d'un système d'engrenage actionné par une manivelle.

L'anneau sustentateur du tore reposait sur le bâti de l'appareil,

il y était maintenu par quatre crochets mobiles; un pignon placé sur l'axe du tore engrenait avec une des roues dentées. Une multiplication appropriée permettait de donner au tore, à l'aide de la manivelle, une vitesse de rotation assez élevée pour que, replacé dans la chape de l'appareil gyroscopique il conserve son mouvement dix à quinze minutes.

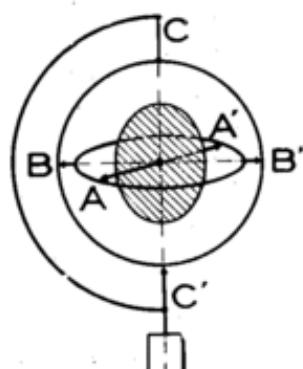


Fig. 23. — Gyroscope de Foucault (schéma).

Dans ces conditions, si l'axe du tore est abandonné à lui-même dans une position donnée, il garde une direction inviolable par rapport aux étoiles. Il est soustrait à l'influence de la rotation de la terre que l'on peut mettre ainsi en évidence. Étant donné la durée relativement courte de ces expériences pour observer les déviations du plan du tore par rapport à des repères se déplaçant avec la terre, Foucault utilisait un microscope à l'aide duquel il observait une réglette graduée portée par le support de l'axe. L'appareil permit à Foucault de faire deux expériences différentes.

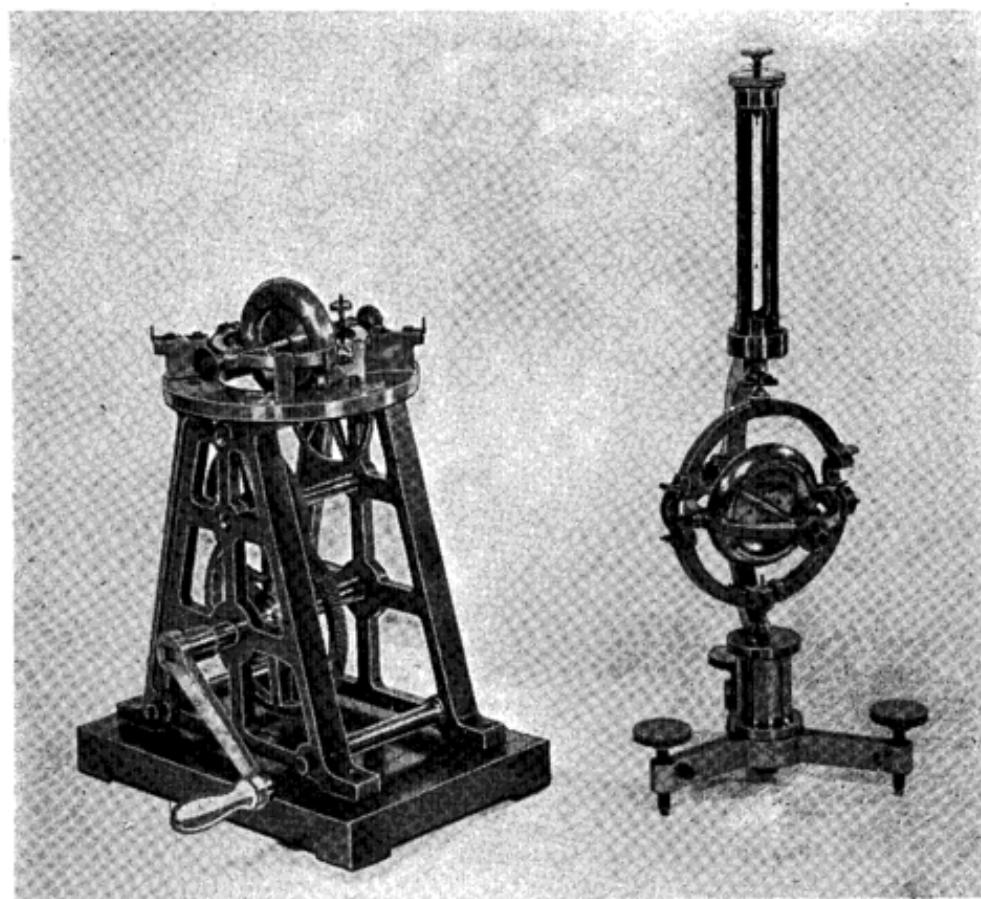


Fig. 24. — Gyroscope de Foucault (7.688).

Dans la première on amène le plan de l'anneau intérieur à être bien horizontal et, à l'aide de goupilles on le rend solidaire de l'anneau extérieur. L'axe AA' est dès lors astreint à rester horizontal tandis que le plan CC'-AA' oscille autour de la verticale CC'. Quand le frottement aux points C et C' a amorti ces oscillations, l'axe du tore vient s'orienter suivant le méridien du lieu. Il ressort de cette expérience qu'il existe une analogie entre l'axe du tore et l'aiguille aimantée de la boussole de déclinaison. C'est sur cette analogie qu'est basé le compas gyroscopique de marine.

Dans la seconde expérience de Foucault on rend l'anneau extérieur solidaire du bâti en chevillant les articulations C et C'. L'axe AA' est alors obligé de se mouvoir dans un plan vertical : on oriente ce plan suivant la direction du méridien géographique. Le tore mis en rotation et abandonné dans ce plan, exécute une série d'oscillations qui s'amortissent, et finit par s'arrêter de telle sorte que son axe de rotation soit pointé vers l'étoile polaire. Il se comporte à ce moment comme l'aiguille d'une boussole d'inclinaison, mais au lieu de faire connaître l'inclinaison magnétique, il donne directement la latitude de sa position.

Dans sa communication à l'Académie des Sciences, le 27 septembre 1852, après avoir rendu compte de ses deux expériences, Léon Foucault pouvait dire : « Sans le secours daucun instrument astronomique, la rotation d'un corps à la surface de la terre suffit à indiquer le plan du méridien et la latitude du lieu. »

7.688. — E. 1867.

### 3. APPAREIL GYROSCOPIQUE reproduisant le phénomène de la précision des équinoxes, par H. Robert.

Provenant du cours de géométrie appliquée aux arts.

L'appareil se compose d'un cône tronqué en laiton, C, dont l'axe AB est formé par une tige d'acier terminée à chaque extrémité par une pointe conique (fig. 25). L'axe repose en A sur un support dont l'extrémité est légèrement évidée en forme de tronc de cône; en B il est maintenu vertical par un dispositif articulé, dans le logement duquel il peut pivoter librement. Ce dispositif sert à donner commodément un mouvement de rotation auxiliaire à l'axe; il se relève ensuite laissant l'extrémité B complètement libre.

L'axe AB porte une petite masse M de position réglable. Lorsque M touche le sommet du cône C, le centre de gravité de

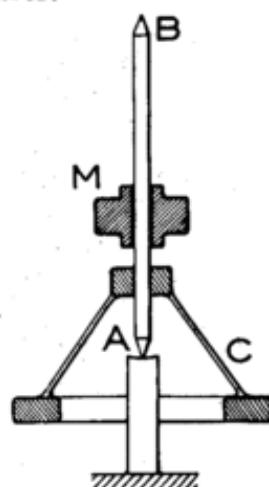


Fig. 25. — Gyroscope de Robert (8.615).

l'ensemble est située au-dessous de A; le solide est en équilibre sur son support. En déplaçant M le long de l'axe on arrive à faire coïncider le centre de gravité avec le point A; le solide est alors en position d'équilibre indifférent. En remontant encore la masse M, le centre de gravité se trouvant situé au-dessus de A, le système est en équilibre instable; il tombe lorsqu'on l'abandonne à lui-même.

M étant placé dans la première position et le cône étant animé d'un mouvement de rotation, lorsque l'axe AB est écarté de la verticale, la pesanteur tend à l'y ramener. Sous l'action de ces deux effets, l'axe décrit un cône de révolution et le système reproduit le phénomène de la précession des équinoxes dû au mouvement de la terre. Le disque circulaire fixe, placé dans le plan de la base du tronc de cône, représente le plan de l'écliptique et permet de suivre le phénomène.

8.615. — E. 1873.

#### 4. ROTASCOPE DE TOM RICHARD, par B. Bianchi.

L'appareil est un gyroscope à suspension à la Cardan; on vérifie qu'il prend une orientation faisant un angle de  $90^{\circ}$  avec celle de la force qu'on fait agir sur lui.

6.853. — E. 1859.

#### 5. ROTASCOPE DE POUDRA.

Don de M. Poudra.

Cet appareil est constitué d'une toupie gyroscopique dont l'anneau sustentateur porte deux boules métalliques assez lourdes. Les boules sont disposées à la base de la toupie, symétriquement de part et d'autre de l'axe du gyroscope; fixées par une tige à vis, leur distance à la toupie est réglable; elles font l'office de contre-poids par rapport à la masse du gyroscope. Le système repose sur un support constitué par une tige dont l'extrémité est effilée; il prend appui sur cette pointe par une tige placée dans le prolongement de l'axe du gyroscope. On peut s'arranger, comme avec l'appareil de H. Robert (8.615) pour que le centre de gravité du système se trouve placé soit au point d'appui, soit au-dessus, soit au-dessous de lui; l'appareil est utilisé comme le n° 8.615.

6.928. — E. 1860.

6. STREPHOSCOPE DE GRUEY, construit par Chateau père et fils.

Don de MM. Chateau père et fils.

Cet appareil comprend une vingtaine de pièces qui permettent de réaliser en divers montages presque toutes les expériences que permettent d'exécuter l'appareil de Bohnenberger, le polytrope de Sire, le gyroscope à mouvements divers de Breguet, etc.

11.922. — E. 1890.

7. POLYTROPE DE G. SIRE.

Don de M. Sire.

1. — Cercle méridien du polytrope.
2. — Piédestal du polytrope.
3. — Gyroscope du modèle original du polytrope (1851).
4. — Pince pour monter le gyroscope du polytrope.
5. — Gyroscope du polytrope.
6. — Anneau se substituant au gyroscope du polytrope.
7. — Toupie équilibrée.
8. — Disque se montant dans l'anneau.

Le polytrope se compose d'un tore T auquel on peut imprimer un mouvement de rotation très rapide, et d'un cercle de bronze qui figure l'un des méridiens terrestres. Le tore se fixe sur la circonference de ce cercle au moyen d'un système de trois chapes concentriques, qui constitue une véritable suspension de Cardan. L'axe du tore dans ces suspensions est libre de prendre dans l'espace toutes les directions possibles. On peut aussi, à l'aide de pinces et de goupilles convenablement disposées, relier la chape moyenne, soit à la chape intérieure, soit à la chape extérieure. Quand l'axe du tore est complètement libre, la rotation du méridien terrestre autour de son axe n'a aucune influence sur la rotation du tore; entraîné par le mouvement du méridien, l'axe du tore se déplace dans l'espace en conservant toujours sa direction première. Quand on introduit des liaisons dans le système, les deux rotations se composent entre elles, et la rotation résultante tend à placer l'axe du tore parallèlement à l'axe de la terre.

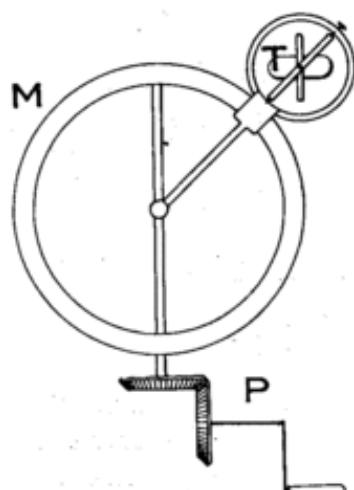


Fig. 26. — Polytrope de Sire (schéma).

Tous les phénomènes observés avec le gyroscope de Foucault peuvent être reproduits avec le polytrope, qui permet de mon-

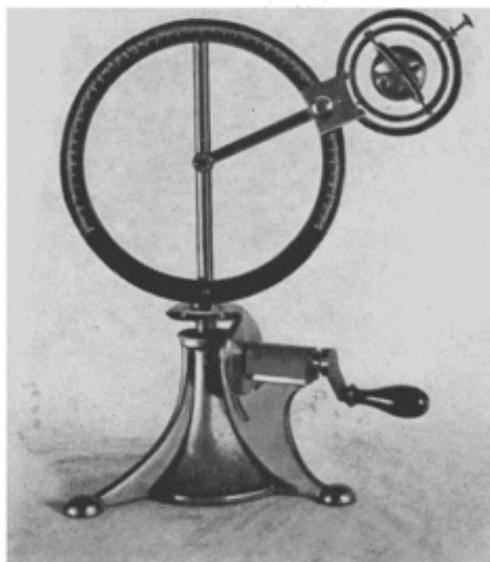


Fig. 27. — Polytrope de Sire (18.629).

trer l'influence que la rotation terrestre exerce, aux différentes latitudes, sur le mouvement des corps tournants.

**18.629<sup>1 à 8</sup>.** — E. 1946.

#### 8. APPAREILS GYROSCOPIQUES DE SIRE.

Don de M. Sire.

1. — Tourne-plateau à main.
2. — Douilles à vis pour le tourne-plateau.
3. — Plateau pour le tourne-plateau.
4. — Potence et crapaudine se montant sur le tourne plateau.
5. — Toupie genre Henri Robert pour expérience de la précession des équinoxes.
6. — Bras pour expériences du pendule gyroscopique G. Sire se montant sur le tourne-plateau.
7. — Toupie genre Henri Robert.
8. — Pendule gyroscopique G. Sire.
9. — Potence du pendule gyroscopique G. Sire.

Le pendule gyroscopique de G. Sire permet de montrer plusieurs propriétés du gyroscope qui résultent de la composition de deux mouvements de rotation dont les axes sont situés dans un même plan ou dans des plans parallèles. Il se compose d'un

tore maintenu dans une chape circulaire qui est fixée à un support au moyen d'une tige métallique, de façon à pouvoir osciller autour d'un axe horizontal à la manière d'un pendule. Ce pendule est disposé sur un plateau tournant. Lorsque simultanément le tore et le plateau sont mis en rotation on constate que le pendule gyroscopique s'écarte de la verticale et s'élève jusqu'à ce que sa tige de suspension vienne à l'horizontale. Le sens de rotation du tore par rapport à celui de la rotation du plateau influe sur le mouvement du pendule gyroscopique; diverses variantes de cette expérience permettent de mettre en évidence la résistance du pendule gyroscopique à la force centrifuge.

Des toupies construites sur le même modèle que l'appareil Henri Robert (n° 8.615) permettent d'étudier le déplacement angulaire de l'axe de rotation et de montrer plusieurs effets de composition de mouvements rotatoires.

18.625<sup>1 à 9</sup>. — E. 1946.

## 9. APPAREIL DES ROTATIONS PÉRIMÉTRIQUES DE G. SIRE.

Don de M. Sire.

1. — Stand de l'appareil des rotations périmetriques de G. Sire.
2. — Roue des contours de l'appareil des rotations périmetriques.
3. — Bras support de la roue des contours.
4. — Toupie Henri Robert.

Avec ces appareils on peut reproduire certains des effets de composition de mouvements de rotation observés avec l'appareil n° 18.625. Si l'on présente un objet quelconque à l'extrémité supérieure de l'axe de rotation de la toupie, celui-ci semble attiré par l'objet et en suit le contour en roulant, quelle que soit la forme de l'objet.

18.627<sup>1 à 4</sup>. — E. 1946.

## 10. BALANCE GYROSCOPIQUE UNIVERSELLE DE G. SIRE.

Don de M. Sire.

1. — Pied de la balance gyroscopique universelle de G. Sire.
2. — Chape à double boucle de la balance gyroscopique universelle.
3. — Gyrostat de la balance gyroscopique universelle G. Sire.
4. — Contrepoids de la balance gyroscopique universelle G. Sire.
5. — Deuxième contrepoids de la balance gyroscopique universelle de G. Sire.

Certaines expériences de G. Sire ont eu pour but de montrer la résistance qu'exerce un gyroscope à l'action de la pesanteur et aux impulsions qu'on essaye de lui communiquer. On sait

qu'un tore en rotation reposant par l'une des extrémités de son axe sur un support reste dans la position où on le place, il exécute seulement un mouvement giratoire autour de son support. La balance gyroscopique est composée d'un fléau qui peut pivoter autour d'un axe horizontal supporté par une chape elle-même mobile autour de son axe vertical. L'un des bras du fléau est formé par un tore et sa chape, l'autre par une tige supportant des poids qui équilibrivent le tore. Celui-ci étant mis en rotation, le fléau demeure immobile; si l'on diminue la masse qui fait équilibre au tore, le fléau prend un mouvement giratoire autour de son axe vertical; si on augmente la masse, le sens du mouvement est inversé.

**18.628<sup>1 à 5</sup>.** — E. 1946.

## 11. *CULBUTEURS GYROSCOPIQUES DE G. SIRE.*

Don de M. Sire.

- 1 et 2. — Gyroscope à monture universelle G. Sire.
- 3. — Liaison des gyroscopes 1 et 2.
- 4. — Pivot pour la liaison.
- 5. — Modèle original en bois du culbuteur alternatif G. Sire.
- 6. — Organe gyrostatique du culbuteur alternatif à mouvements réciproques.
- 7. — Pied de culbuteur alternatif à mouvements réciproques G. Sire (1891).
- 8. — Culbuteur alternatif simple de G. Sire.
- 9. — Pied de culbuteur alternatif simple.
- 10. — Gyrostat et monture pour l'équilibre de Lord Kelvin.
- 11. — Pied stand recevant le pivot de liaison.

L'appareil se compose d'un tore suspendu à la Cardan; le cercle extérieur est maintenu verticalement par un support en fonte. On peut imprimer à ce cercle un mouvement de rotation autour de son axe vertical. Le sens de la rotation est inversé alternativement au moyen d'une ficelle qui s'enroule sur l'axe. Lorsque le tore est en rotation on observe qu'il culbute sur lui-même lorsque la rotation du cercle extérieur change de sens. Des effets de freinage s'observent tant que l'axe du tore n'a pas trouvé sa position d'équilibre.

**18.626<sup>1 à 11</sup>.** — E. 1946.

## 12. *MODÈLES JOUETS du culbuteur alternatif G. Sire.*

Don de M. Sire.

**18.631<sup>1-2</sup>.** — E. 1946.

13. *GYROSTATS.*

Don de M. Sire.

18.632<sup>1-2</sup>. — E. 1946.14. *TROIS TORES de recharge.*

Don de M. Sire.

18.633. — E. 1946.

15. *TOUPIE GYROSCOPIQUE, genre Foucault.*

Don de M. Sire.

18.634. — E. 1946.

16. *ACCESSOIRES divers des appareils gyroscopiques de G. Sire.*

Don de M. Sire.

18.635. — E. 1946.

17. *COMPAS MONOGYROSCOPIQUE ANSCHÜTZ-KÆMPFE.*

Prêt du Ministère de la Marine.

L'élément essentiel de l'appareil est un gyroscope G (fig. 28). Le carter C du gyroscope porte les coussinets de l'arbre; il est soutenu par une pièce F en forme d'un tore en acier, creux, flottant sur le mercure contenu dans une cuve circulaire J. La cuve est en acier et suspendue à la Cardan. Le système rigide gyroscope-flotteur porte la rose R et lui transmet ses mouvements. La ligne nord-sud de la rose est exactement superposée à l'axe du gyroscope.

Le volant du gyroscope pèse environ 6 kgs : il est mis en rotation par un moteur asynchrone triphasé qui lui donne sa vitesse de régime en 20 min.; cette vitesse est de 20.000 t/min. Le courant de deux des phases arrive au gyroscope par l'intermédiaire de deux contacts à mercure traversant la glace supérieure en son centre. L'un des contacts A<sub>1</sub> est une cheville dont la partie inférieure terminée en pointe plonge dans un petit godet de mercure disposé en haut du flotteur; l'autre contact A<sub>2</sub> est disposé circulairement autour de la cheville A<sub>1</sub>. Le passage du courant de la troisième phase se fait par la cuve, le flotteur et le mercure. Le carter porte le stator; le rotor est encastré dans le volant du gyroscope. Le gyroscope enfermé dans son carter forme un ventilateur centrifuge; il aspire l'air par deux ouvertures latérales

et le refoule par une buse horizontale, placée au bas du carter, perpendiculairement à l'axe du gyroscope. Devant l'ouverture de la buse est placé un dispositif de stabilisation aérodynamique.

Le gyrocompas Anschütz a été adopté par la marine allemande

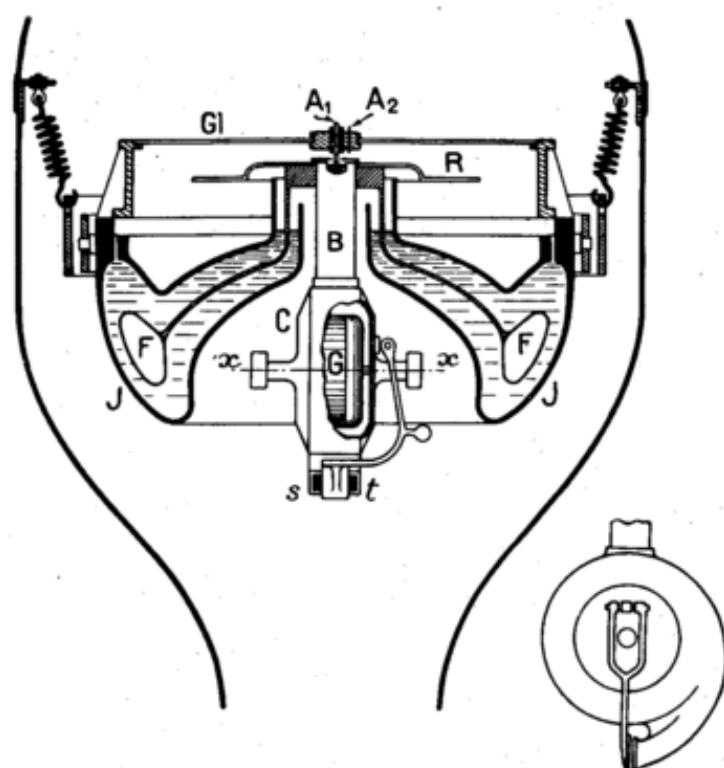


Fig. 28. — Compas gyroscopique Anschütz-Kaempfe (14.590).

en 1908, puis par la marine anglaise. La marine américaine et la marine française adoptèrent en 1912 le gyrocompas américain Elmer A. Sperry.

14.590. — E. 1920.

## AUX RÉSERVES

### 1. GYROSCOPE à mouvements divers de Breguet.

9.001. — E. 1878.

### 2. POLYTROPE de SIRE, par Hardy.

7.692. — E. 1867.

## MOUVEMENT A LA POINSOT

G A 2-5

Dans un mémoire lu à l'Académie des Sciences en 1834 et inséré au tome XVI du *Journal de Liouville*, puis reproduit en 1854 comme addition à la *Connaissance des Temps*, Poinsot a donné une représentation géométrique très remarquable du mouvement d'un solide qui a un point fixe, quand le mouvement des forces appliquées au solide par rapport au point fixe est nul pendant toute la durée du mouvement.

Poinsot a montré que ce mouvement pouvait être représenté par le roulement de deux courbes : l'une, la polhodie (route du pôle) tracée sur l'ellipsoïde d'inertie relatif au point fixe, l'autre l'herpolhodie (route serpentante du pôle) tracée sur le plan tangent à cet ellipsoïde, au point d'intersection de l'axe instantané de rotation avec l'ellipsoïde. Ce plan est fixe. Poinsot a montré que l'herpolhodie restait comprise entre deux cercles concentriques qu'elle touche alternativement. Dans le mouvement elle roule sans glisser et ne présente ni inflexion, ni retroussement.

### 1. HERPOLODOGRAPHIE de DARBOUX et KŒNIGS, construit par Chateau père et fils.

La représentation géométrique de Poinsot a été matérialisée par Darboux et Koenigs au moyen de l'herpolodographe qui réalise le roulement de la polhodie sur le plan fixe et l'herpolhodie.

L'appareil comprend :

1. Une roue circulaire, dentée de champ et d'axe vertical; cette roue est animée d'une rotation uniforme par un rouage à poids, régularisé au moyen d'un moulinet à ailettes.
2. Une roue non plane, ayant pour primitive l'intersection d'un cône avec une sphère concentrique et de même rayon que

la roue circulaire; cette deuxième roue est dentée de champ, son axe est incliné et elle engrène avec la première.

3. L'axe de la deuxième roue porte à son extrémité un dispositif figurant la polhodie; un certain nombre de points de la courbe sont représentés par les sommets de picots en acier.

4. Un plan circulaire parallèle à la roue plane et dont l'axe se confond avec l'axe de cette dernière est tangent à la polhodie.

5. Un contrepoids équilibrant le système mobile est articulé au bâti par un joint de Cardan, il permet de régler l'adhérence des picots sur le plan.

Le tracé de l'herpolhodie s'obtient en interposant entre le plan et la polhodie un papier enduit de noir de fumée.

11.661. — E. 1889.



## CHOCS ET PERCUSSIONS

### G A 3

On dit qu'il y a choc lorsqu'un corps en mouvement subit une variation brusque dans la répartition de ses vitesses, sous l'action d'une nouvelle liaison de contact introduite instantanément; on dit au contraire qu'il y a percussion lorsqu'une variation brusque de la répartition des vitesses provient soit de l'intervention instantanée d'une liaison autre qu'une liaison de contact, soit d'un nouveau système de forces.

Si le choc est instantané, on est conduit à prendre en considération des forces infinies. A la suite de Bernouilli (1724), on a étudié le produit de la force par le temps pendant lequel elle agit ((impulsion), quantité finie sur laquelle on peut bâtir toute la théorie du choc, en suivant la théorie des quantités de mouvement et des moments cinétiques sous sa forme intégrale.

On est amené à distinguer le choc direct et le choc indirect : le choc est dit direct si les vitesses initiales des corps au point d'impact ont une même direction passant par les centres de gravité, et indirect si les vitesses ont des directions différentes.

Pratiquement, on fait l'étude théorique du choc en considérant deux cas extrêmes correspondant à la variation du phénomène avec la nature des corps : on distingue en effet les corps parfaitement mous (dénués d'élasticité) qui, gardant la vitesse commune qu'ils ont prise, ne cherchent pas à reprendre leurs formes primitives, et les corps parfaitement élastiques qui ne subissent qu'une déformation temporaire. En fait, les corps naturels ont des propriétés intermédiaires entre celles de ces deux types théoriques et sont partiellement mous, possédant plus ou moins d'élasticité; tout choc laisse une déformation d'ailleurs moindre que la déformation maximum subie pendant la collision. D'autre part, les molécules du corps ne prennent leurs nouvelles positions d'équilibre qu'après

des vibrations qui se manifestent en général par production d'un son et échauffement du corps. Si, de plus, les corps ne sont pas polis, le glissement, à l'instant du choc, s'accompagne d'une percussion tangentielle.

Tous les résultats relatifs à la théorie du choc peuvent se résumer assez grossièrement dans le principe de la conservation de l'énergie, avec dégradation possible sous forme de chaleur; sous une autre forme, on peut dire que la somme des quantités de mouvement des divers éléments du système est constante.



## ÉTUDE DES CHOCS

G A 3-1

### 1. BILLARD EN MARBRE pour la démonstration des lois de mécanique.

On utilise les dispositifs à marteau 1420 et 1426 posés sur le billard pour étudier les lois de la transmission des chocs avec des billes d'ivoire. On peut également mettre en évidence le phénomène de l'effet sur la réflexion des billes par les bandes. On imprime à une bille un mouvement de rotation autour de son axe vertical; ce mouvement se compose avec la rotation normale autour d'un axe parallèle au plan du billard. Lorsque

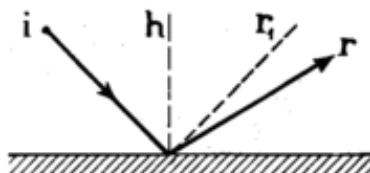


Fig. 29. — Billard en marbre pour la démonstration des lois de la mécanique.

la boule frappe la bande, l'énergie cinétique de la première rotation lui donne, par suite du frottement, une impulsion parallèle à la bande qui vient s'ajouter à la réflexion normale; dans ces conditions l'angle de réflexion est plus grand que l'angle d'incidence (fig. 27).

1.419. — E. 1807.

### 2. RÈGLE A MARTEAUX D'IVOIRE, montée sur patins.

Le dispositif est constitué par une règle métallique montée sur deux patins; la règle supporte des marteaux qui peuvent pivoter autour d'elle et qui frappent au bas de leur course des billes convenablement disposées sur le billard. L'appareil sert à étudier la transmission du mouvement par le choc; des secteurs

permettent de mesurer l'angle d'inclinaison initiale du marteau; on détermine ainsi la vitesse du marteau au moment du choc et on calcule la force avec laquelle il frappe la bille.

1.420. — E. 1807.

*3. APPAREIL A DEUX MARTEAUX D'IVOIRE, pour l'étude de la percussion.*

Dans ce dispositif les marteaux se déplacent horizontalement, dans un plan parallèle à celui du billard. Un ressort permet de leur donner une vitesse supérieure à celle qu'ils acquiéreraient sous l'effet de la pesanteur. La vitesse des marteaux varie comme leur distance à l'axe; on peut mesurer les rapports des vitesses directement, à l'aide de la règle graduée portant les marteaux et vérifier les lois de transmission des chocs.

1.426. — E. 1807.

*4. DEUX MASSES DE CUIVRE.*

Ces masses se fixent sur les marteaux des appareils n°s 1420 et 1426, pour faire varier leur poids.

1.427. — E. 1807.

*5. COLONNE ET TAMBOUR A INCLINAISON VARIABLE.*

Cet appareil sert à étudier la réflexion du mouvement d'un corps pesant tombant sur une surface élastique. Un secteur gradué permet de mesurer l'angle d'inclinaison du tambour sur la verticale passant par son centre. Une boule guidée par un œilletton situé au sommet de la colonne tombe au centre du tambour. On constate que l'angle de réflexion est voisin de l'angle d'incidence.

1.422. — E. 1807.

*6. PLAN de marbre et bille d'ivoire pour étudier l'élasticité.*

4.325. — E. 1849.

*7. CADRE elliptique pour l'étude des lois de la réflexion d'une bille.*

F et F' étant les foyers de l'ellipse; si on lance une bille à partir de F vers M, elle passera successivement par M et F' (fig. 30).

1.423. — E. 1807.

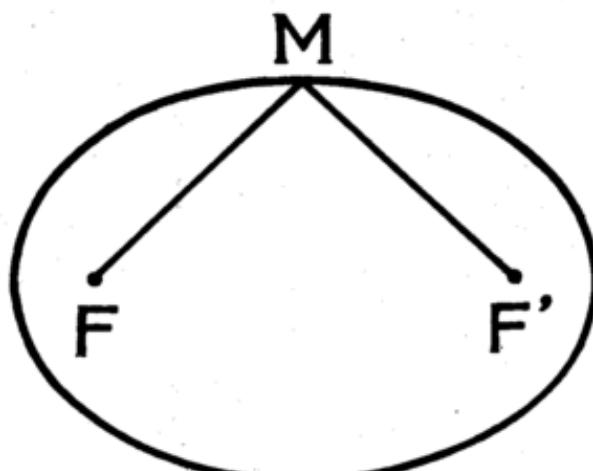


Fig. 30. — Cadre elliptique pour l'étude des lois de la réflexion d'une bille.

*8. SUPPORT AVEC 7 BILLES D'IVOIRE identiques.*

Cet appareil sert pour les expériences sur la communication du mouvement par le choc entre deux corps élastiques. On écarte la première boule de sa position d'équilibre et on l'abandonne à elle-même. Sous l'action de la pesanteur, elle décrit un arc de cercle et vient heurter la deuxième boule avec une vitesse égale à  $\sqrt{2gh}$ . Après le choc, la première bille est en repos, mais toute sa quantité de mouvement s'est transmise à la deuxième; celle-ci acquiert la même vitesse que la première bille : le phénomène se transmet de proche en proche. Les déformations dues aux chocs absorbent de l'énergie; c'est pourquoi d'un choc à l'autre la vitesse des billes diminue jusqu'à presque s'annuler.

1.429<sup>1</sup>. — E. 1807.

*9. SUPPORT AVEC 8 BILLES D'IVOIRE.*

On démontre en mécanique que lors du choc de deux corps élastiques le produit de la masse par la vitesse est constant. L'appareil sert à constater que les vitesses acquises par les billes sous l'effet du choc sont inversement proportionnelles à leur masse.

1.429<sup>2</sup>. — E. 1807.

## AUX RÉSERVES

*1. COLLECTION DE BILLES d'ivoire de diamètres différents.*

1.428. — E. 1807.

## ACTION DE CONTACT ENTRE SOLIDES

G A 4

### ADHÉRENCE

G A 4-1

1. *DEUX CUBES de marbre poli pour l'étude de l'adhérence.*

1.485. — E. 1807.

2. *DEUX PLANS DE GLACE dans leur chape de cuivre pour la démonstration de l'adhérence dans le vide.*

1.486. — E. 1807.



# FROTTEMENT

G A 4-2

## 1. PLAN INCLINÉ EN VERRE.

On place sur la plaque de verre un corps ne pouvant pas rouler et on augmente l'angle du plan incliné avec l'horizontale; au moment où le corps glisse sur le plan incliné on note la valeur de l'angle. Ce coefficient de frottement est proportionnel à la tangente de l'angle et non à l'angle lui-même. Il dépend uniquement de la nature des surfaces en contact.

1.439. — E. 1807.

## 2. TRIBOMÈTRE DE DESAGULIERS.

Un volant repose horizontalement sur des paliers formés de deux roues croisées analogues à celles des machines d'Atwood (1431). Un ressort spiral relié à son axe lui permet de prendre un mouvement de rotation alternatif analogue à celui des balanciers de montre. On appuie sur l'arbre de ce volant un levier à l'extrémité duquel on peut suspendre des poids. On constate que l'amortissement du mouvement par frottement est d'autant plus rapide que le poids est plus grand. Ce n'est pas le coefficient de frottement qui varie dans ce cas, mais la force de frottement.

1.444. — E. 1807.

AUX RÉSERVES

1. *CHARIOT à mouvement d'horlogerie pour expériences sur le frottement.*

1.424. — E. 1807.

2. *SUPPORT AVEC BALLES DE PLOMB pour la démonstration de l'adhérence dans le vide.*

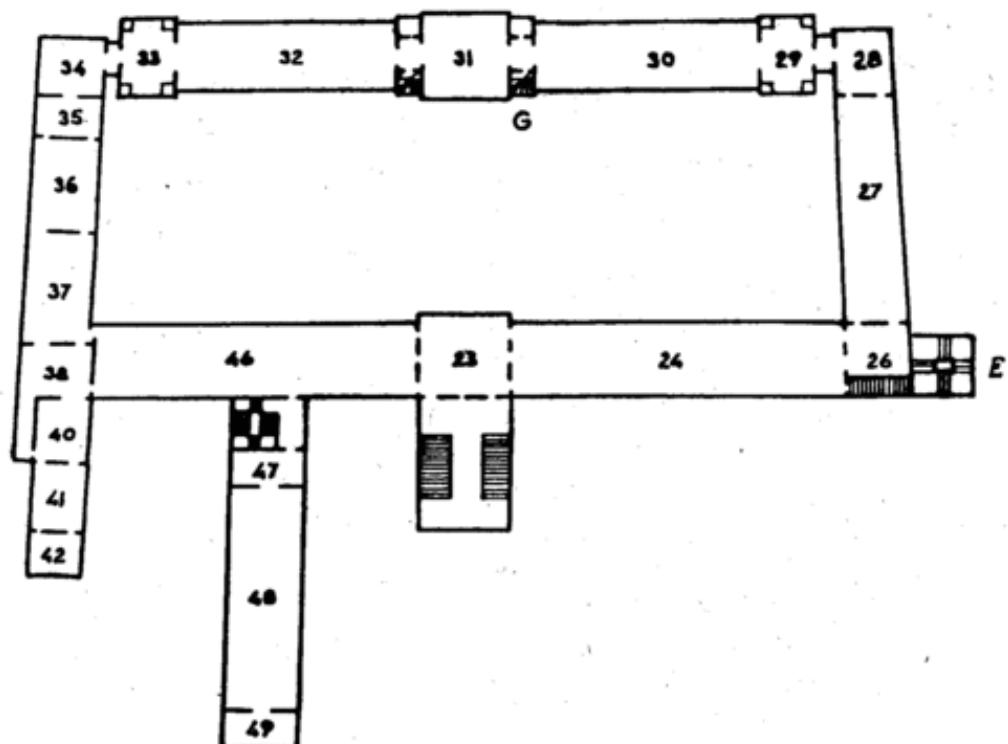
8.484. — E. av. 1872.

3. *DEUX DISQUES de verre avec support pour l'étude de l'adhérence.*

8.485. — E. av. 1872.



## PLAN DU MUSÉE



1<sup>er</sup> étage

Salle 23. — Salle d'honneur.

Salle 24. — Machines motrices et élévatrices.

Salles 26 à 30 — Physique, électricité, radioélectricité, optique, acoustique.

Salles 31 et 32. — Machines-outils, mécanique industrielle.

Salles 33 et 34. — Verrerie.

Salles 35 à 37. — Céramique.

Salles 38 à 42. — Photographie et cinématographie.

Salle 46. — Arts graphiques, industrie chimique.

Salles 47 à 49. — Filature et tissage.

Imprimé en France  
TYPOGRAPHIE FIRMIN-DIDOT ET Cie. - MESNIL (EURE) - 1682  
Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trimestre 1955.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

**Droits réservés au Cnam et à ses partenaires**