BULLETIN DES SCIENCES
MATHÉMATIQUES ET ASTRONOMIQUES

PH. GILBERT

Les preuves mécaniques de la rotation de la terre

Bulletin des sciences mathématiques et astronomiques 2e série, tome 6, nº 1 (1882), p. 189-223

<http://www.numdam.org/item?id=BSMA_1882_2_6_1_189_0>

© Gauthier-Villars, 1882, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Bulletin des sciences mathématiques et astronomiques » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

MÉLANGES.

LES PREUVES MÉCANIQUES DE LA ROTATION DE LA TERRE;

PAR M. PH. GILBERT (1).

I.

On sait que la doctrine de la rotation de la Terre autour de son axe, enseignée dans l'antiquité par Héraclite de Pont, Ecphantus, Aristarque de Samos et Seleucus de Babylone, fut admise au xve siècle par Nicolas de Cues, évêque de Brixen. Elle était donc restée en quelque sorte dans la circulation des idées, et, bien longtemps avant Copernic et Galilée, les hommes qui réfléchissent avaient su se mettre au-dessus de l'illusion des sens. Mais il était réservé au chanoine de Thorn et à Kepler, par des travaux immenses où les calculs les plus arides s'alliaient aux vues les plus hardies, de mettre dans tout son jour la belle ordonnance du vrai système du monde.

Bien que le nom de Galilée soit constamment associé au triomphe de ce système, on doit dire que le grand physicien italien a peu fait *directement* pour l'établir dans la science. Ses découvertes télescopiques sur la rotation du Soleil, sur les phases de Vénus, sur les satellites de Jupiter, ont cependant renversé quelques-uns des préjugés dont on s'armait contre la rotation de la Terre. Mais les raisons d'harmonie, de simplicité et de convenance qu'il faisait valoir en faveur des idées de Copernic avaient été déjà, pour la plupart, signalées par son illustre prédécesseur. Quant à l'argument qu'il tire du phénomène des marées, dont la cause réside, suivant lui, dans une certaine inégalité due au double mouvement de la Terre, tout le monde sait aujourd'hui que cette explication est fausse et que la rotation du globe n'est pour rien dans le flux et le reflux de la mer.

---

(1) Conférence faite à la Société Scientifique de Bruxelles en avril 1882.

Galilée rendit des services plus efficaces à la cause de la vérité en découvrant, en expliquant les principes de la Mécanique, en réfutant avec autant d'esprit que de force les objections que les péripatéticiens, par exemple, opposaient à la thèse de la rotation de la Terre. C'était là, en effet, un terrain sur lequel se portait volontiers l'effort des défenseurs de Ptolémée, dont plusieurs, comme Riccioli, étaient doués d'un véritable talent d'observation. N'ayant aucune idée nette du principe de l'indépendance des mouvements, persuadés qu'un corps cesse de se mouvoir juste au moment où disparaît la force qui le sollicite, les adversaires du mouvement de la Terre opposaient que, si l'on abandonne une pierre du sommet d'une tour, elle tombe au pied de celle-ci; or, disaient-ils, si la Terre était en mouvement, la tour aurait parcouru déjà un grand espace pendant la durée de la chute, et la pierre irait nécessairement toucher le sol bien loin en arrière, c'est-à-dire à l'*ouest* de la tour. Jamais, ajoutaient-ils, un boulet de canon ne pourrait atteindre son but; jamais les oiseaux sortis de leurs nids ne pourraient y rentrer, la Terre les ayant emportés avec elle, etc.... Mersenne et Petit plantaient même un canon la bouche vers le haut, pour voir dans quel sens dévierait le projectile; malheureusement, l'un des boulets disparut, le second alla tomber à 2000 pieds à l'ouest, le troisième autant à l'est, et les expérimentateurs, jugeant probablement que le quatrième pourrait prendre la moyenne et leur tomber sur la tête, cessèrent l'expérience.

A ces mécaniciens attardés, il fallait expliquer, comme le firent Galilée et Gassendi, que le mouvement imprimé se conserve dans un corps; que la pierre, animée à son départ d'une vitesse égale à celle de la tour, ne perd pas cette impulsion reçue et continue à se transporter *dans le sens horizontal,* avec la même vitesse que la tour elle-même; il fallait montrer que, si rapide que soit la marche d'un navire, la pierre lâchée au sommet du grand mât tombe, non pas à l'arrière comme elle le ferait si l'objection était fondée, mais au pied même du mât; que l'imprudent qui saute d'une voiture lancée à fond de train vient heurter le sol avec toute la violence de l'impulsion qu'il a reçue du véhicule.

Mais, en détruisant ainsi les mauvaises raisons de ses adversaires, loin d'apporter à son tour des preuves physiques, mécaniques, sensibles du mouvement de rotation de la Terre, Galilée

ne vit pas jusqu'au bout de sa propre doctrine. En plusieurs endroits de ses Dialogues, il nie formellement la possibilité de constater cette rotation par des expériences exécutées à la surface de la Terre. « Car », dit-il, « le résultat de ces expériences sera nécessairement le même, que la Terre soit en repos ou en mouvement ». Plus conséquent ou plus pénétrant, il eût vu que l'objection des péripatéticiens peut se retourner contre eux, et que l'expérience proposée pour constater l'immobilité du globe terrestre, exécutée avec une précision suffisante, fournirait une preuve irréfragable de son mouvement.

En effet, par suite de la rotation de la Terre autour de la ligne des pôles, les points les plus éloignés de cet axe sont animés de la plus grande vitesse. Dans une tour d'une élévation suffisante, le sommet, étant plus loin de l'axe terrestre que la base, aura, dans le sens horizontal et vers l'est, un mouvement plus rapide. Un corps, tombant du haut de la tour, participe à sa vitesse et la conserve indépendamment de son mouvement vertical; par conséquent, pendant la durée de sa chute, il parcourt horizontalement vers l'est un espace plus considérable que ne fait le pied de la tour : il ira donc toucher le sol en un point situé quelque peu à l'est de la verticale passant par son point de départ. Tel est le raisonnement fort simple qu'auraient dû faire les défenseurs de Galilée. Sans doute, cette *déviation,* par rapport à la verticale, des corps tombant d'une grande hauteur doit être minime, la différence des distances à l'axe étant peu de chose relativement au rayon de la Terre. Une théorie plus savante, et dans laquelle on tiendrait compte de la résistance de l'air, indique qu'elle doit être de $0^m,011$ seulement pour une hauteur de chute de 80^m sous la latitude de Bologne. Néanmoins on pouvait espérer, par des expériences conduites avec beaucoup d'adresse, de la mettre en évidence. Mais Galilée n'y songea pas, ni personne à cette époque.

C'est à Newton, semble-t-il, qu'il faut reporter l'honneur d'avoir le premier aperçu cette conséquence du mouvement diurne, cette expérience *cruciale,* pour décider entre Ptolémée et Copernic. On voit, dans l'histoire de la Société Royale de Londres par Bird, qu'à une réunion chez le président Williamson, le 8 décembre 1679, le Dr Hooke lut une lettre de Newton, où le grand physicien faisait observer que, si on laisse tomber un corps pesant d'une hauteur

suffisante, il devra, par suite de la rotation diurne, tomber à l'est de la verticale de son point de départ. La Société Royale ayant exprimé le désir de voir réaliser cette expérience, Hooke fit quelques objections à l'idée de Newton, et prétendit que la déviation se produirait, non à l'*est*, mais au *sud-est*. Par quelle considération théorique Hooke justifiait-il cette conclusion? Nous l'ignorons; mais il est fort curieux que les expériences dont nous aurons à parler s'accordent, presque toutes, à signaler une faible déviation vers le sud, dont la théorie est, jusqu'ici, impuissante à rendre raison.

Le 18 décembre, Hooke rend compte de ses expériences : il a trouvé, effectivement, un écart vers le sud-est; mais, comme la hauteur de chute n'était que de 27 pieds anglais et que la déviation ne devait pas, par suite, dépasser un demi-millimètre, il y a tout lieu de croire que le physicien anglais aura été dupe d'une illusion. La Société émit alors le vœu d'assister aux expériences. Il est impossible de savoir ce qu'il en advint : les procès-verbaux ne renferment plus aucune mention à cet égard.

II.

Plus de cent ans se passèrent, et le système de Copernic était entré en possession de l'adhésion unanime des astronomes, avant que l'on songeât à reprendre les expériences suggérées par Newton. Ce fut un jeune abbé italien, J.-B. Guglielmini, qui, en 1790, à la suite de controverses théoriques sur la matière, eut l'audace de les tenter et l'énergie de les mener à bonne fin, dans cette même tour *degli Asinelli* de Bologne où, un siècle auparavant, Riccioli avait expérimenté sur la chute des corps en vue de contredire Galilée ([1]).

La tour Asinelli se prête bien à ces recherches. Elle a environ

---

([1]) *Jo. Baptistæ Guglielmini de diurno terræ motu experimentis physico-mathematicis confirmato opusculum. Bononiæ, MDCCXCII, ex typographia S. Thomæ Aquinatis, cum superiorum permissu.* Cet opuscule, fort rare et qui ne se trouve probablement dans aucune bibliothèque de Belgique, a été mis à notre disposition, avec une libéralité dont nous lui exprimons ici toute notre reconnaissance, par le savant prince B. Boncompagni.

100^m de haut; on en fait l'ascension par un escalier tournant qui laisse libre, dans l'axe, un espace plus que suffisant.

En haut, la tour est fermée par une voûte, que surmonte un clocheton; en s'établissant sous la voûte, ouvrant les trappes des étages et perçant la voûte de l'étage inférieur, on dispose d'une hauteur verticale de 240^{pi}. Malheureusement, les constructeurs ont laissé dans les murs bon nombre d'ouvertures, par lesquelles le vent fait rage à certains moments : on ne pouvait donc opérer, pour ces expériences délicates, que par un temps parfaitement calme. De plus, les premiers essais révélèrent à Guglielmini la nécessité d'expérimenter entre 2^h et 5^h du matin; en tout autre temps, la circulation des voitures dans le voisinage détermine, sur cette tour élancée, des vibrations telles qu'il est impossible d'amener à l'immobilité complète le corps dont on veut étudier la chute. Or cette immobilité est de rigueur, car la plus minime impulsion dans le sens latéral, imprimée au départ, conserve son influence pendant toute la chute et suffit à masquer le phénomène principal, en donnant au corps, au lieu d'une déviation de $0^m,005$ ou $0^m,006$ à l'est, une déviation de $0^m,04$ à $0^m,05$ dans un sens inconnu. Les malheureux expérimentateurs ne l'ont que trop souvent éprouvé.

Une plaque de cuivre horizontale, percée d'un petit trou, fut reliée solidement à la maçonnerie de la voûte supérieure, et par ce trou passait le fil auquel pendait une balle bien sphérique. Dans les premiers temps, le fil était attaché à un crochet au-dessus de la plaque, et on le brûlait quand la balle était arrivée au repos, ce dont on s'assurait en l'observant à l'aide de microscopes. Au bas de la tour était disposé, dans un cadre fixe, un plateau de cire sur lequel les balles, en tombant, venaient marquer une empreinte profonde, dont on relevait ensuite la position par rapport à la verticale passant par le point de suspension du fil. D'après toute probabilité, les balles devaient venir frapper toutes à la même place, et l'expérience eût été fort simple.

Mais les choses ne marchèrent pas si facilement, et les échecs successifs auraient abattu un courage moins tenace que celui du jeune savant : les premières balles ne passèrent même pas par l'ouverture, assez large pourtant, de la voûte inférieure. Il fallut, par une série d'expériences minutieuses, exécutées à l'Observatoire, où Guglielmini disposait de 90 pieds de chute seulement, mais

où il était abrité contre les courants d'air, déterminer la cause de ces déviations insolites. Il crut la trouver dans des oscillations imperceptibles qui persistaient dans la balle ou s'y produisaient, au moment même où elle paraissait parfaitement tranquille. Pour y remédier, après divers essais infructueux, il adopta comme mode de suspension une pince travaillée avec soin par Comelli, dont les mâchoires serraient le fil suspenseur de la balle, et que l'on ouvrait par une pression insensible sur un levier lorsqu'on s'était assuré que l'air était calme, la tour dépourvue de toute oscillation et le fil en parfait repos.

Les études préliminaires à l'Observatoire ayant bien réussi, car les balles tombèrent toutes sensiblement dans l'empreinte de la première, à $0^m,004$ à l'est du point d'aplomb, Guglielmini recommença avec un nouveau courage, dans la nuit du 1er janvier 1791, à observer dans la tour Asinelli, avec l'assistance de Mgr Bonfioli, prélat domestique du pape Pie VI (1). Traversées par de nouvelles déconvenues et un état atmosphérique désolant, les expériences furent reprises aux mois de juin et d'août 1791, par les nuits les plus tranquilles et avec des précautions telles, que deux balles seulement étaient lancées chaque nuit. Guglielmini observa ainsi *seize* chutes dont une, à cause de l'agitation sensible de l'air, offrait un résultat discordant qui dut être rayé de la série des expériences.

La moyenne de ces chutes donna une déviation vers l'*est* de $0^m,0167$, avec $0^m,01175$ de déviation vers le *sud;* toutes les déviations étaient orientales, sans exception, l'écart entre les extrêmes étant de $0^m,014$ environ, résultat assez remarquable, eu égard aux difficultés de l'expérience et à l'époque où elle s'effectuait. En comparant ces chiffres à ceux de sa théorie, Guglielmini trouva que la différence était seulement de $\frac{4}{10}$ de millimètre pour la déviation vers l'est.

Malheureusement un défaut grave infirme la valeur de cette comparaison. Pour déterminer la déviation, il fallait comparer, au moyen de fils tendus sur un cadre rectangulaire, les positions des em-

(1) A cette circonstance, il convient d'ajouter que le livre de Guglielmini parut avec l'approbation du saint-office de Bologne, en 1792. C'est donc à tort que certains auteurs reculent jusqu'en 1822 l'autorisation ecclésiastique d'enseigner le mouvement de la Terre.

preintes laissées par les balles à la position du fil à plomb suspendu au même point que les balles. Non seulement le physicien italien ne déterminait pas sa verticale chaque jour, comme il eût dû le faire, mais, par suite de circonstances défavorables, la vérification de la verticale fut retardée de six mois. Les expériences avaient eu lieu en été; ce fut en hiver que l'on détermina la verticale du point de suspension. Or, dans un édifice aussi élevé et construit d'ailleurs dans des conditions aussi insolites que la tour Asinelli (1), il se produit nécessairement, par les changements de saison et par bien d'autres causes aisées à concevoir, des changements sensibles dans l'inclinaison : Guglielmini avait donc une verticale toute différente à l'époque des expériences et à l'époque de la vérification.

Aussi les calculs de la déviation théorique, refaits par Laplace, ne donnèrent que $0^m,011$ de déviation orientale, et rien vers le sud. Guglielmini, d'ailleurs, reconnut lui-même l'incertitude de ses résultats, quoiqu'ils eussent été accueillis favorablement par le monde savant. Dans une lettre à Benzenberg, datée de janvier 1803, il parle de nouvelles recherches auxquelles il se serait livré, et d'une variation de courbure dans la tour par les changements de température. Il reconnaît aussi s'être trompé dans sa théorie, qui lui annonçait une déviation vers le sud, dont Laplace a prouvé le néant (2). Ajoutons que, au lieu de calculer l'écart théorique au moyen de la *hauteur* de chute, facile à déterminer exactement, Guglielmini se servait de la *durée* de chute, mesurée par un procédé peu exact et qui comportait conséquemment une erreur très sensible.

Ainsi ces expériences de Bologne, malgré la ténacité courageuse avec laquelle elles ont été menées à travers tant de difficultés, n'ont donné définitivement aucun résultat dont la Science puisse se prévaloir avec sécurité.

Quelques années après les essais de Bologne, le Dr Benzenberg,

---

(1) C'est une des célèbres tours penchées de Bologne.

(2) Il s'agit, bien entendu, de déviations *observables*. Celles que l'analyse indique comme étant de l'ordre du carré de la vitesse rotatoire du globe ($\omega^2 = 0,000000005$) tombent au-dessous de nos moyens d'observation.

qui habitait Hambourg, fut amené par une conversation avec le Dr Horner, ainsi qu'il le conte lui-même [1], à reconnaître l'heureuse disposition de la tour Saint-Michel, à Hambourg, et à l'utiliser pour des expériences sur la résistance de l'air et sur la déviation des corps tombants. Ces expériences furent terminées en 1802. Deux ans plus tard, il en fit de nouvelles sur le même objet dans un puits de mine de Schlebusch. Nous allons en donner brièvement la disposition et les résultats, car ceux-ci, comme on le verra, ne sont guère de nature à faire époque dans la Science.

Le sommet de la tour Saint-Michel est à une hauteur totale de $130^m,50$. La vue y est splendide : le mouvement du port de Hambourg, le large cours de l'Elbe coupé par des îles; au loin, les jardins et les villas des riches armateurs; au pied de l'église, Hambourg, avec sa population bariolée, ses voitures se croisant dans tous les sens, son activité prodigieuse, forment un merveilleux panorama. Achevée en 1780, cette tour est un monument de l'audace de Sonin, l'architecte original et intelligent qui accepta un jour le pari de bâtir en soixante-douze heures une salle pouvant contenir deux cents personnes, et qui le gagna.

Benzenberg n'avait d'abord aucune idée des précautions minutieuses exigées par les recherches auxquelles il allait se livrer; le livre de Guglielmini, les résultats grossiers des premières expériences qu'il fit en octobre 1801 lui ouvrirent les yeux. Au commencement, on suspendait le corps tombant à un fil passant par un petit trou à travers une plaque, et l'on coupait le fil au-dessus du trou : les balles ainsi lâchées tombèrent, l'une à $0^m,054$ à l'ouest et autant au sud de la verticale du point d'attache; l'autre à $0^m,11$ à l'est et $0^m,027$ au sud. Il fallut revenir à la pince de Guglielmini plus ou moins modifiée, et renoncer à la hauteur de 340 pieds dont on pouvait disposer, à cause des courants d'air qui se produisaient dans une sorte de tuyau par où les balles devaient passer. Les balles étaient faites d'un alliage de plomb, d'étain et de zinc; leur diamètre atteignait $0^m,027$. Elles étaient fondues avec soin, puis tournées et soigneusement polies. Pour éviter les rotations de la balle sur elle-même pendant la chute, un trou fin était

---

[1] *Versuche über das Gesetz des Falls, über den Widerstand der Luft und uber die Umdrehung der Erde*, etc. Dortmund, 1804, in-8°.

percé suivant un rayon de la sphère et servait à fixer le fil de soie ou de crin auquel on suspendait la balle; de cette manière, on s'assurait que le centre de gravité de la balle était au-dessous du point par lequel elle est attachée au fil. La balle, en tombant, venait frapper la surface d'une table horizontale saupoudrée de craie et portant à son centre un trou de $0^m,006$ de diamètre, dont, à chaque expérience, on amenait le centre juste dans la verticale du point de suspension en y faisant passer le fil à plomb; après quoi l'on vissait solidement ce plateau sur un plancher supporté par de fortes pièces de bois. Deux lignes, se croisant au centre du trou, étaient orientées sur les points cardinaux.

L'administration de l'église, par malheur, ne permit pas l'usage de lumières dans la tour. Benzenberg ne put ainsi profiter du calme de la nuit, ni même employer le microscope pour vérifier l'immobilité des balles à l'instant du départ. Cette condition indispensable ne fut probablement jamais remplie, tant à cause du passage continuel des voitures dans les rues fréquentées qui se croisent près de la tour, que par suite des courants d'air impossibles à éviter dans cet énorme tuyau. Cette circonstance, et d'autres contretemps sur lesquels l'auteur s'étend avec complaisance dans son livre, exercèrent sur les résultats une fâcheuse influence. Après bien des essais, bien des perfectionnements apportés à la confection des balles et au mode de suspension, désespérant de vaincre les difficultés qui s'opposaient à une grande précision dans le travail, Benzenberg se résigna à compenser l'infériorité des expériences par leur multiplicité, s'appuyant sur ce principe contestable que, dans la masse des essais, la déviation constante résultant de la rotation terrestre finirait par se manifester; comme si une loi physique pouvait se dégager d'une manière certaine d'un ensemble d'observations dans lesquelles les erreurs possibles dépassent de beaucoup la grandeur à évaluer! Il se livra donc, le 14, le 15, le 23 et le 26 octobre 1802, à des séries d'expériences (31 en tout), dont il élimina arbitrairement celles qui, par leurs résultats, lui paraissaient devoir être entachées de quelque cause d'erreur. La moyenne des déviations, prise sur l'ensemble des expériences ainsi triées, fut de $0^m,009023$ vers l'est et de $0^m,00448$ vers le sud pour une hauteur de 235 pieds.

La comparaison de la théorie avec l'expérience fut faite par deux

maîtres de la Science, Olbers et Gauss; elle donna lieu à une controverse fort intéressante, et à un de ces beaux Mémoires de Mécanique comme Gauss en savait écrire. Établissant directement les équations du mouvement apparent d'un corps pesant à la surface de la Terre, il trouva que la déviation vers l'est devait être, à Hambourg, de $0^m,00891$, résultat extrêmement voisin du chiffre obtenu par Benzenberg, mais que la déviation vers le sud se réduisait à zéro. Cette dernière conclusion, d'accord avec la théorie de Laplace, et à laquelle Olbers ne tarda pas à se ranger, contredit le résultat trouvé par l'observateur hambourgeois, et enlève, par conséquent, beaucoup de sa valeur à la concordance des déviations vers l'est.

D'ailleurs, il faut bien le reconnaître, dans les observations de Benzenberg, il se trouve des déviations dans tous les sens, 11 vers le nord et 16 vers le sud, d'une part; 8 vers l'ouest et 21 vers l'est, de l'autre, et tout cela entre des limites relativement fort étendues, allant de $0^m,047$ vers l'est à $0^m,0315$ vers l'ouest, et comprenant toutes les valeurs intermédiaires, sans qu'aucun écart paraisse spécialement favorisé. Ce ne sont pas là, on en conviendra, les conditions ordinaires d'une bonne expérience : l'écart entre les valeurs extrêmes observées est à peu près neuf fois aussi grand que la déviation moyenne obtenue.

Benzenberg ne se laissa pas pourtant décourager par une telle déception. Désireux surtout d'éclaircir la question de la déviation australe, il se transporta dans un puits de charbonnage abandonné de Schlebusch, *zur alten Rosskunst*, qui mesurait 262 pieds de chute verticale. Tous ses appareils soigneusement revisés, ses balles refondues et suspendues, avec plus d'attention que jamais, dans une caisse destinée à les abriter contre les agitations de l'air de mine, sous la surveillance de deux microscopes qui lui en révéleront les moindres mouvements, il s'installe, au cœur de l'hiver, à une distance considérable et qu'il lui faut parcourir tous les jours, dans la sordide cabane d'un mineur dont la personne et la famille, raconte-t-il, répandaient autour d'elles des émanations à faire reculer un Esquimau. L'isolement de la mine, l'absence de toute cause d'ébranlement perturbateur remplissaient l'âme de l'observateur de l'espoir du succès; mais il fallut une première fois renoncer à toute expérience : l'humidité de la mine pendant l'hiver cri-

blait l'atmosphère de gouttelettes d'eau qui, rejaillissant partout, atteignaient et déviaient les balles dans leur chute. De plus, un courant d'air violent soufflait des galeries inférieures vers le haut du puits; on dut boucher hermétiquement l'ouverture supérieure et masquer les galeries du fond; encore ne parvint-on jamais à obtenir un air entièrement tranquille. Les expériences régulières commencèrent le 7 octobre 1804. Les deux premières furent détestables; le 8 octobre, on observait 12 chutes irrégulières; le 9 octobre, 16; le 10 octobre, 8; en tout, en laissant de côté les résultats visiblement altérés par des causes inconnues, 29 chutes, dont les déviations par rapport à la verticale variaient, comme limites extrêmes, entre $0^m,043$ au nord et $0^m,034$ au sud; entre $0^m,045$ à l'est et $0^m,0225$ à l'ouest. Les limites d'erreur étaient donc plus élevées encore qu'à la tour Saint-Michel, et d'ailleurs, comme dans les premières expériences, rien n'indiquait une accumulation dans le voisinage de la moyenne, qui fut trouvée de $0^m,0113$ vers l'est, au lieu de $0^m,01037$ indiqués par la théorie. Il n'y eut pas, en moyenne, de déviation sensible vers le sud. En somme, en dehors d'une tendance persistante à marquer une déviation vers l'est, conformément à l'hypothèse de la rotation de la Terre, on peut considérer ces expériences de Benzenberg, plus encore que celles de Hambourg, comme n'apportant pas à la théorie une confirmation de quelque valeur.

Chose curieuse! en terminant le récit de sa peu fructueuse campagne, Benzenberg recommandait, comme un local éminemment propre à des expériences sur la déviation des corps tombant d'une grande hauteur, la coupole du Panthéon de Paris. Le docteur allemand ne soupçonnait pas, assurément, que cinquante ans plus tard ce même dôme du Panthéon verrait une expérience bien plus originale et bien plus décisive, dans laquelle, regardant tourner le plan d'oscillation du pendule de Foucault, un public étranger aux Sciences toucherait en quelque sorte du doigt la rotation diurne du globe.

III.

L'issue fâcheuse des tentatives de Benzenberg dans la mine de Schlebusch n'en dégoûta pas les continuateurs de son œuvre. C'est encore dans un puits de mine que, vingt-cinq ans plus tard, un

observateur aussi patient et mieux outillé, dans des expériences aujourd'hui classiques, allait tenter d'arracher à la nature la preuve physique d'une vérité dont la Science ne doutait plus, d'ailleurs, depuis longtemps.

Lorsque, en 1820, on ouvrit près de Freiberg, dans la mine de *Beschert Glück,* le puits appelé *Dreibrüderschacht,* le baron de Herder eut l'idée d'utiliser sa grande profondeur pour y reprendre, avec toute la précision que les progrès de la Science permettaient d'atteindre, les expériences sur la déviation des corps tombants. Retardées par les démarches pour se procurer un mètre authentique, ces études furent préparées, à partir du 4 mai 1830, par le professeur Reich et le mécanicien Brendel. Les expériences proprement dites commencèrent le 19 août 1831 et furent terminées le 8 septembre, pour ne pas entraver l'exploitation (¹). L'intervalle d'une année fut rempli par les préparatifs, la construction des cabines, des appareils, de l'horloge, etc.

La position du puits déterminée (50° 53′ 22″ lat. N.), on établit dans toute sa hauteur (160^{m} environ) une sorte de cheminée en bois, de 0^{m},42 sur 0^{m},35 d'ouverture, bien exactement verticale, solidement rattachée de distance en distance aux parois du puits, enfin, soigneusement close et calfeutrée du haut en bas; on voulait par là éviter l'humidité, les courants d'air, les oscillations transmises par une cause quelconque qui auraient pu influer sur la direction des corps pendant leur chute. Cette cheminée aboutissait, en haut et en bas, aux cabines où étaient installés les appareils de lancement et de réception des corps tombants, et où se tenaient les expérimentateurs. Des précautions spéciales furent prises, à la suite de quelques mécomptes rencontrés dans les premières expériences, pour qu'à l'extrémité inférieure du tuyau, au-dessus du bloc où venaient frapper les balles, il n'y eût pas introduction de courants d'air pouvant occasionner des déviations sensibles; on s'assura, par l'immobilité de la flamme d'une chandelle, que le but avait été atteint.

(¹) Les résultats en ont été consignés dans l'opuscule, aujourd'hui assez rare, intitulé : *Fallversuche über die Umdrehung der Erde angestellt auf hohe Oberbergamtliche Anordnung in dem Dreibrüderschacht bei Freiberg und herausgegeben von F. Reich, Professor der Physik an der K. S. Berg-Akademie.* Freiberg, 1830, in-8°.

Reich choisit, pour l'étude de la déviation, des balles sphériques de $0^m,04$ environ de diamètre, pesant 270^{gr}, aussi homogènes et aussi bien polies que possible; fondues d'un alliage d'étain, de bismuth et de plomb, elles se montrèrent assez résistantes au choc pour qu'on pût les employer plusieurs fois. On se servit aussi de balles de plomb de 270^{gr} et de trois billes d'ivoire.

Il ne paraît pas que l'on se soit préoccupé suffisamment de savoir si le centre de gravité coïncidait avec le centre de figure, condition sans laquelle il se produit dans la chute des rotations irrégulières, provoquant un frottement spécial de la part de l'air, ce qui peut produire une déviation notable.

Reich savait que la moindre impulsion latérale, causée par un souffle d'air, une oscillation des appuis, une faute de l'opérateur, suffit à produire une déviation accidentelle bien supérieure à celle qu'il faut observer : il attacha donc une importance extrême au mode de suspension de la balle. Dans une partie de ses recherches, il se servit d'un fil très court et très fin, de cuivre ou de crin de cheval, passé dans un chas imperceptible de la balle, et serré ensuite entre les mâchoires d'une pince, au-dessus desquelles le fil était coupé court. Ces mâchoires s'ouvraient ensuite doucement pour abandonner la balle à l'action de la pesanteur, sous la pression d'une vis, afin d'éviter absolument toute impulsion étrangère. Une pièce accessoire de la pince servait à pendre le fil à plomb, destiné à déterminer exactement, de temps en temps, la verticale du point où les balles étaient suspendues. Tout ce système était enfermé dans une caisse solidement reliée aux parois du puits, et ne pouvant recevoir aucune oscillation des mouvements de l'opérateur; cette boîte restait hermétiquement close jusqu'au moment de la chute.

Deux microscopes à axes croisés étaient disposés pour observer l'instant où la balle ne marquait plus aucune oscillation appréciable, ce qui demandait environ quinze minutes : c'est à cet instant que l'on ouvrait la pince.

Un autre mode de suspension, dont Reich espérait d'excellents résultats, mais qui nous paraît sujet à de graves objections, fut employé dans la cinquième série d'expériences. Il consistait à déposer la balle, préalablement chauffée, sur un anneau circulaire en cuivre, légèrement conique à l'intérieur, fixé bien horizontale-

ment, et dont le diamètre intérieur excédait un peu celui de la balle refroidie. Au bout d'un certain temps, la balle, contractée par le refroidissement, passait à travers l'anneau et la chute se produisait sans secousse. On comprend sans peine que, pour peu que le refroidissement s'opérât d'une manière inégale sur le pourtour de la courbe de contact, il devait se produire un petit glissement latéral très fâcheux. Pour déterminer alors la verticale, on remplaçait l'anneau par une plaque circulaire de même grandeur, dont le centre était percé d'un trou par lequel on descendait le fil à plomb.

La verticale était repérée, au bas de la cheminée, sur une plaque d'acier fixée au centre d'une tablette en bois, solidement installée, destinée à recevoir les balles à la fin de la chute. Chaque balle laissait dans le bois une empreinte plus ou moins profonde, et l'on prenait, au moyen de fils tendus, les coordonnées du centre de cette impression par rapport à deux lignes orientées tracées sur la plaque d'acier : c'est par ce moyen que les déviations furent relevées.

La comparaison des résultats de l'expérience avec ceux de la théorie exigeait la connaissance exacte de la hauteur de chute. Au moyen d'un mètre en fer fourni par Fortin, on mesura avec soin la longueur d'une latte en bois, qui avait séjourné assez longtemps dans le tuyau pour en prendre la température et l'humidité, et l'on porta cette latte de bout en bout sur une autre, fixée du haut en bas de la cheminée. Ce mesurage fut contrôlé d'ailleurs par une mesure directe, au moyen d'un fil de cuivre suspendu dans la cheminée. Comparées et corrigées avec un soin qui paraîtra excessif, si l'on songe au peu d'influence qu'une petite variation dans la hauteur peut produire sur le phénomène à étudier, ces mesures donnèrent une moyenne de $158^{m},50$ entre le centre de la balle suspendue et le plateau où elle venait frapper à l'arrivée.

Reich attachait aussi une grande importance à déterminer exactement la durée de la chute, pour évaluer l'intensité de la pesanteur; il installa dans ce but une excellente horloge à pendule conique dont l'opérateur arrêtait le mouvement à l'instant où la balle atteignait le plateau inférieur, instant marqué mécaniquement par l'extinction de la lumière réfléchie d'une lampe d'Argant. La durée de la chute (358 tierces environ, après l'élimination de l'er-

reur personnelle) donna un résultat sensiblement d'accord avec la formule du capitaine Sabine pour l'intensité de la pesanteur.

Avant d'indiquer les résultats des diverses séries d'observations instituées par Reich, nous noterons encore que Reich, comme Benzenberg, commit la faute d'écarter du calcul des moyennes toutes les observations dont le résultat s'écartait beaucoup de la moyenne générale, même quand aucune raison spéciale, antérieure à tout calcul, ne lui avait signalé quelque chose de défectueux dans l'observation même, comme une secousse imprimée au fil, une agitation de l'air, etc... Tout le monde sait qu'un pareil remaniement des résultats de l'expérience est aujourd'hui unanimement condamné par les observateurs consciencieux (1).

Six séries d'expériences, comprenant respectivement 23, 12, 12, 18, 21 et 21 chutes observées, furent exécutées avec un soin extrême dans l'intervalle du 23 août au 8 septembre 1831. La moyenne générale déduite de ces six séries, après l'élimination critiquée plus haut, se monte à $0^m,028396$ de déviation *orientale* pour $0^m,0437$ de déviation australe, la hauteur moyenne de chute étant de $158^m,54$. La théorie donne, dans les mêmes conditions, une déviation à l'est de $0^m,0275$, qui s'accorde très bien avec la conclusion des expériences; elle n'indique, comme nous l'avons observé déjà, aucune déviation vers le sud.

Tel est le résultat célèbre, classique, connu de tous, présenté dans tous les Traités de Mécanique et d'Astronomie comme une confirmation éclatante des théories fondées sur la rotation de la Terre. Eh bien, nous avons éprouvé une réelle déception en étudiant, dans l'ouvrage même de Reich, le détail de ces expériences fameuses; car le résultat final et concordant que l'on se borne à citer ne donne absolument aucune idée des écarts qui se sont produits dans les différentes expériences. Entre les moyennes des diverses séries même, il y a des discordances notables, car les déviations moyennes à l'est varient entre $0^m,04634$ (4e série) et $0^m,01070$ (6e série); quant à la déviation vers le sud, elle est remplacée dans trois séries par une déviation moyenne vers le nord, allant jusqu'à 0,016. Mais ces écarts sont encore bien éloignés des

(1) *Voir* notamment M. D'ABBADIE, *Géodésie d'Éthiopie.*

anomalies qui se montrent entre les chutes, dans une même série d'expériences. Ainsi, dans la première série (23 chutes), la moyenne de $0^m,027$ de déviation *est* ne nous laisse nullement soupçonner que, dans cette même série, la déviation *est* oscille entre $0^m,0195$ et $0^m,179$, et que même, dans une partie des chutes, on trouve des écarts vers l'*ouest,* en sens contraire de ce qu'exige la théorie, qui vont à $0^m,040$ et même $0^m,077$. Quelle confiance accorder à une moyenne de $0^m,027$ à l'est, dans une suite d'observations qui en comportent où la déviation est le triple en sens contraire? Dans la deuxième série, on relève des déviations passant par toutes les valeurs, depuis $0^m,006$ jusqu'à $0^m,119$ vers l'est et depuis $0^m,0097$ jusqu'à $0^m,105$ vers l'ouest. Dans la troisième série, les déviations vont de $0^m,079$ à l'orient à $0^m,080$ à l'occident, et ainsi de suite.

Les anomalies sont plus prononcées encore dans le sens parallèle au méridien. Ici nous passons par tous les nombres entre $0^m,187$ vers le sud et $0^m,151$ vers le nord; il se trouve même des séries, nous l'avons dit, dont la moyenne donne une déviation nord. Un tableau résumant graphiquement les résultats obtenus, que Reich a annexé à son Mémoire, met sous les yeux, de la manière la plus nette, l'incertitude des résultats.

La conclusion qui s'impose lorsqu'on réunit et étudie dans leur ensemble les expériences de Guglielmini, de Benzenberg et de Reich sur la déviation produite, par la rotation de la Terre, dans les corps tombant d'une grande hauteur, c'est, à notre avis, celle-ci : ces expériences sont vraiment insuffisantes eu égard au rôle important qu'on leur a assigné dans la science; *elles sont à refaire.*

La perfection dans les appareils et les méthodes d'expérimentation a fait assez de progrès depuis 1830; si une grande hauteur de chute est jugée nécessaire pour ces recherches, la France et la Belgique possèdent aujourd'hui des puits d'extraction assez profonds [1]; la question offre un intérêt suffisant; enfin, nous avons assez de jeunes physiciens désireux de se signaler par une étude où l'importance des résultats s'allie à la difficulté de l'entreprise,

---

[1] On nous a signalé, notamment, un puits à Épinac et deux dans le voisinage de Mons (300^m).

pour que l'on puisse espérer d'une tentative bien dirigée des conséquences précieuses pour la Science. N'y eût-il que la question de l'existence d'une déviation vers le sud à éclaircir, comme la théorie n'en indique pas, c'est déjà là un problème qui mérite un effort.

Mais, à ne considérer que les résultats obtenus jusqu'à ce jour, et abstraction faite d'une tendance à la déviation vers l'est qui se révèle manifestement dans l'ensemble des phénomènes, on pourrait répéter ce que disait déjà Laplace en rappelant les objections des adversaires de Galilée : « On éprouve maintenant à reconnaître dans la chute des graves le mouvement de la Terre autant de difficultés que l'on en trouvait alors à prouver qu'il doit y être insensible (1). »

IV.

Il était réservé à un physicien français, enlevé trop tôt dans la force de l'âge et du talent, de fournir une démonstration bien plus nette, plus accessible à tous, du mouvement diurne du globe terrestre.

Les oscillations du pendule conique ou pendule à un seul fil avaient été étudiées par les académiciens du *Cimento*, à Florence; ils avaient observé une déviation constante, sans cause apparente, dans le *plan d'oscillation* du pendule. Rien n'indique qu'ils aient eu la pensée de rattacher cette déviation au mouvement de la Terre; rien ne prouve même qu'elle n'ait pas été due à quelque défaut de l'appareil.

Par quelle série de déductions Léon Foucault fut-il amené à chercher, dans le pendule libre, un signe sensible de la rotation terrestre? La persistance du plan d'oscillation d'une tige élastique montée sur un tour en l'air fut, paraît-il, le point de départ. Quoi qu'il en soit, après bien des tâtonnements, l'expérience réussit le 8 janvier 1851 et fut communiquée le 3 février à l'Académie, où elle excita une vive émotion et provoqua d'intéressantes recherches théoriques. Pour comprendre la liaison entre le phénomène observé et la rotation du globe, plaçons sur une table mo-

(1) *Exposition du système du monde*, Liv. V, Chap. IV.

bile un support, auquel nous suspendrons un fil portant une balle de plomb et bien également flexible dans tous les sens. Écarté de sa position verticale d'équilibre et abandonné à lui-même, ce pendule prendra un mouvement d'oscillation dans un plan passant par la verticale du point de suspension, et ce plan occupera une position invariable par rapport à la table, comme par rapport aux murs de la pièce où l'on opère, si le fil satisfait exactement à la condition d'égale élasticité dans tous les sens. Supposons maintenant que, pendant la marche du pendule, on vienne à mouvoir la table sans secousse, à lui donner, par exemple, un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, passant par le point de suspension du pendule. On serait tenté de croire, au premier abord, que le mouvement gyratoire du support va entraîner celui du plan d'oscillation du pendule; que ce plan ne cessera pas de correspondre à une même ligne tracée sur la table et tournera par conséquent avec celle-ci. Mais, avec un peu de réflexion, on aperçoit qu'aucune cause réelle ne tend à dévier ce plan; grâce à la qualité que nous lui avons supposée, le fil se plie avec une égale facilité dans toutes les directions; rien ne l'empêche donc d'osciller dans un plan fixe, alors même que l'extrémité supérieure du fil est forcée de tourner sur elle-même.

C'est ce que l'expérience vérifie fort bien. Au fur et à mesure que la table se déplace, le plan d'oscillation du pendule correspond à des lignes différentes sur la table et semble tourner en sens contraire de celle-ci; mais la comparaison avec des objets restés fixes montre aussitôt que ce plan n'a pas changé et que c'est la table seule dont la rotation produit cette apparence.

Ce qui se passe entre le pendule libre et la table où est fixé son point d'attache se produit également sur la terre. Si nous concevons d'abord le pendule porté au pôle nord et suspendu à un point pris sur le prolongement de l'axe terrestre, puis écarté de la verticale et abandonné sans vitesse, il se mettra à osciller suivant l'un des méridiens qui se croisent au pôle. Rien n'oblige son plan d'oscillation à se mouvoir; mais comme, en vertu du mouvement diurne, les méridiens successifs passent sous le pendule en tournant de droite à gauche, l'observateur, qui n'a pas conscience de ce mouvement, verra le plan d'oscillation dévier en apparence de

la gauche vers la droite, et cette apparence inattendue lui révélera le vrai mouvement du globe terrestre.

Si nous transportons le théâtre de l'expérience sous une latitude quelconque, la nôtre par exemple, le phénomène va se compliquer, parce que la verticale du point d'attache du fil, qui, au pôle, se confondait avec l'axe de la Terre et avait une direction fixe, participe maintenant au mouvement du globe et décrit un cône autour de cet axe. Le plan d'oscillation du pendule libre, assujetti par l'action de la pesanteur à passer constamment par cette verticale, ne peut donc garder une direction invariable dans l'espace, mais, suivant une induction de Foucault que des calculs plus savants ont confirmée, il s'écarte le moins possible, à chaque instant, de sa direction à l'instant qui précède, et si l'on suit les conséquences de ce principe, par un calcul qui ne peut trouver place ici, on trouve que la déviation apparente du plan d'oscillation, par rapport à la trace horizontale de sa position primitive, est proportionnelle au *sinus* de la latitude. Égale à la rotation même du globe, au pôle, elle va s'amoindrissant jusqu'à l'équateur, où elle est nulle (1). On peut donc dire avec l'ingénieux inventeur : « De même qu'en pleine mer, à perte de vue du rivage, le pilote, les yeux fixés sur le compas, prend connaissance des changements de direction accidentellement imprimés au navire ; de même, l'habitant de la Terre peut se créer, au moyen du pendule, une sorte de boussole arbitrairement orientée dans l'espace absolu, et dont le mouvement apparent lui révèle le mouvement réel du globe qui le supporte. »

L'appareil sur lequel Foucault vérifia d'abord ses déductions n'avait pas plus de 2^m de haut. Plus tard, il installa à l'Observatoire de Paris un pendule de 11^m de fil, sur lequel le phénomène se traduisit d'une manière bien plus sensible. Enfin, par la volonté du prince-président Louis-Napoléon, l'expérience fut reprise au

---

(1) « Un jour, dans le jardin du Luxembourg, Foucault rencontrant un ami, digne, je crois, de toute sa confiance, le pria, sans lui parler du pendule, de calculer un angle infiniment petit qu'une construction géométrique sur une petite boule définissait avec précision, et qui, par l'enchaînement de deux triangles sphériques, fut trouvé proportionnel au sinus de la latitude. « J'en étais sûr », dit Foucault, et un éclair de triomphe et de joie illumina un instant sa physionomie fine et railleuse ». (J. Bertrand, *Éloge historique de L. Foucault*, p. 21.)

Panthéon dans des proportions grandioses. On fixa inébranlablement, au sommet de la coupole, les pièces métalliques auxquelles était suspendue la tige du pendule, fil d'acier de 67^m de long sur $0^m,0014$ de diamètre, soigneusement retouché par Foucault. Au-dessous du pendule, une table circulaire, sur laquelle on avait tracé des diamètres de 5° en 5°, permettait de lire la déviation. Les oscillations du pendule ayant une grande amplitude et une durée de seize secondes, la progression du plan d'oscillation était sensible à chaque va-et-vient; pour la rendre plus nette encore, on garnit la sphère d'une pointe qui, à chaque oscillation, entaillait de petits monticules de sable disposés sur le pourtour du cercle. Cette déviation s'effectua d'ailleurs régulièrement dans le sens anoncé par la théorie, et la loi du sinus se vérifia même d'une manière satisfaisante.

Plus tard, un appareil électromagnétique, imaginé par Foucault, permit de prolonger à volonté la durée de l'expérience, qui, jusque-là, avait été limitée par l'extinction naturelle des oscillations du pendule.

L'expérience de Foucault présente, sur celle de la déviation des corps tombant d'une grande hauteur, un avantage singulier : elle accumule, pendant un temps assez long pour les rendre sensibles, les effets, d'abord tout à fait inappréciables, que la rotation si lente du globe terrestre exerce sur le mouvement apparent des corps. C'est là son caractère le plus précieux. Mais, malgré l'éclatant succès qui l'a couronnée dans les mains de l'inventeur, on ne doit se faire d'illusion, ni sur les difficultés expérimentales qu'elle présente, ni sur celles que sa théorie même soulève à un examen approfondi (1).

On a dit parfois que l'expérience du pendule de Foucault est très facile à reproduire. Il n'en est absolument rien, et Lissajous était certainement plus près de la vérité lorsqu'il écrivait : « Ceux qui ont répété consciencieusement son expérience ont pu seuls se

(1) On ne peut douter que cette théorie ait été souvent mal comprise en voyant proposer dans les *Annales de Poggendorff* (t. LXXXIII, p. 302) ce moyen naïf de constater la rotation du globe : Un fil bien délié suspendu à une voûte et portant, à son extrémité inférieure, un index horizontal mobile au-dessus d'un cadran. Grâce à la torsion du fil, l'index est rendu indépendant de la rotation terrestre.

rendre compte des difficultés pratiques que présentait sa réalisation. Foucault a avoué qu'il ne les avait surmontées qu'après plusieurs années d'essais. C'est à sa persévérance, à sa ténacité, à la fermeté de ses convictions qu'il a dû d'atteindre le but (1). » « L'éminent constructeur Froment », dit à son tour M. Bertrand dans son bel *Éloge de Foucault,* « dérobant, sous la simplicité apparente d'un travail diligemment achevé, la *difficulté d'une exécution très délicate,* a été pour Foucault un digne collaborateur. » Des physiciens exercés et bien outillés nous ont déclaré n'avoir pas réussi à installer un pendule marchant convenablement, d'autres avaient obtenu une déviation du plan d'oscillation, mais beaucoup trop rapide.

Il importe d'observer que le pendule doit être mis en mouvement sans aucune vitesse *latérale,* c'est pourquoi l'on attache la boule dans une sorte d'anse en fil organique, que l'on brûle quand la boule est en repos. Mais il est bien difficile encore d'éviter toute secousse, et la plus faible exerce une modification permanente sur la trajectoire du corps pesant. En outre, cette trajectoire n'est pas proprement une droite, mais une ellipse très allongée qui tend à se déformer plus ou moins rapidement; les résultats de cette déformation se confondent bientôt avec ceux de la rotation de la Terre, et l'observation devient très difficile.

Mais où se rencontre la principale cause d'erreur ou tout au moins de doute, c'est dans l'inégale élasticité du fil de suspension dans les différents sens autour du point d'attache. La théorie de Foucault suppose essentiellement, nous l'avons vu, que le fil n'ait aucune tendance par lui-même à osciller dans un plan plutôt que dans un autre. La plus minime variation d'élasticité qui peut exister autour de l'axe du fil constitue une cause déviatrice permanente du plan d'oscillation; la rotation de la Terre en est une autre, très faible aussi; et c'est de la grandeur relative de ces deux forces perturbatrices que vont dépendre les effets observés. Or, qui ne comprend combien il est difficile de réaliser un fil métallique et un mode d'attache qui réunissent cette égale facilité d'oscillation dans tous les azimuts? Foucault supportait quelquefois le fil par

---

(1) *Travaux scientifiques de L. Foucault,* t. II, p. 7.

la filière même à laquelle il avait été étiré; d'autres fois, il se servait d'un fil martelé et écroui à plusieurs reprises; il a conseillé aussi de soumettre le fil, pendant plusieurs semaines, à des oscillations dans tous les sens. Ces moyens doivent être efficaces, mais on ne peut guère s'assurer qu'ils ont atteint le but, si ce n'est par la réussite même de l'expérience. Si l'on encastre le fil entre deux mâchoires offrant une rainure demi-cylindrique et serrées au moyen de vis, on risque de modifier l'élasticité très inégalement et d'obtenir des déviations dans le sens qui plaira à l'opérateur.

Aussi semble-t-il préférable d'appliquer au pendule libre la suspension de Cardan, comme l'a fait le Dr Garthe dans ses expériences à la cathédrale de Cologne, en 1852. Ces expériences, d'ailleurs peu connues, sont au nombre des plus parfaites qui aient été inspirées par la belle découverte de Foucault; on nous permettra de nous y arrêter un instant (1).

La voûte du chœur du célèbre *Dom* atteint 50^m d'élévation au-dessus du pavé. Dans une pierre formant clef de voûte, offrant au-dessus une cavité qui se terminait par une ouverture cylindrique à la partie inférieure, on fixa inébranlablement un bloc de chêne percé d'une ouverture verticale en correspondance avec celle de la pierre, et l'on garnit cette ouverture d'un anneau circulaire en cuivre, vissé dans le bois. Un deuxième anneau, concentrique et plus petit, portait par des pivots d'acier très soignés sur le premier, de façon à être mobile autour d'un diamètre horizontal. Un axe d'acier, à angle droit sur ce diamètre, était soutenu par des coussinets faisant corps avec l'anneau intérieur, et à cet axe, dans l'espace resté libre au centre de l'anneau, pendait la pièce métallique à laquelle était fixé le fil de suspension de la masse pendulaire, fil de $0^m,007$ d'épaisseur. Grâce à la délicatesse extrême de ce mode de suspension, les oscillations étaient encore bien visibles au bout de six heures.

Pour mesurer le déplacement du plan d'oscillation, un double secteur circulaire divisé, concentrique avec la projection horizontale du pendule au repos, était disposé au-dessous de l'appareil et

---

(1) *Foucault's Versuch als direkter Beweis der Axendrehung der Erde*, etc., von Dr Garthe. Köln, 1852. L'ouvrage donne la description d'un *géostréphomètre* imaginé par l'auteur. L'appareil ne paraît pas avoir réussi.

orienté d'une façon convenable. Toutes les précautions étaient prises pour abandonner le pendule sans aucune vitesse à l'action de la pesanteur, dans un plan choisi à volonté et dont l'azimut variait à chaque expérience. La durée d'une oscillation était de $13^s,5$ et comportait une déviation de $0^m,003$ sur le cercle divisé.

Cinq séries d'expériences eurent lieu du 28 mai au 14 juin 1852. Dans chaque expérience, on mesurait avec le plus grand soin le temps que mettait le plan d'oscillation à se déplacer de 5°, pour en déduire le temps nécessaire à une déviation de 1°, temps qui, d'après la théorie et abstraction faite des petites variations que les études postérieures ont indiquées, devait être de $5^m 8^s,23$, temps moyen. Cette durée a varié, dans la première série, de $5^m 7^s,60$ à $5^m 10^s,40$; dans la deuxième, de $5^m 6^s,20$ à $5^m 10^s$; dans la troisième, de $5^m 8^s,40$ à $5^m 11^s,40$; dans la quatrième, de $5^m 7^s,80$ à $5^m 11^s,40$; dans la cinquième, de $5^m 4^s,60$ à $5^m 10^s,80$. La moyenne générale, déduite de 36 expériences, a donné $5^m 8^s,75$, avec une erreur probable n'atteignant pas une demi-seconde. Pour mieux mettre en évidence l'accord fort remarquable entre la théorie et l'observation, nous remarquerons que, d'après la moyenne des expériences, la déviation du plan d'oscillation en une heure de temps sidéral aurait été de $11°38'30'',9$, tandis que le calcul donne, pour la latitude du *Dom* et d'après la loi du sinus, $11°38'50'',3$.

Parlons maintenant de la théorie. Si, comme le voulait Poinsot, on ne regarde la question que sous le point de vue géométrique, elle paraît fort simple. Soit qu'on décompose la rotation du globe en deux autres, soit qu'on adopte le principe de Foucault et que l'on suive la voie tracée ces jours derniers par M. J. Bertrand et par M. Hatt (1), rien n'est plus facile que d'en déduire la déviation du plan d'oscillation et la loi du sinus. Mais on ne saurait admettre qu'il y ait là une simple question de Géométrie : la Dynamique y joue un rôle essentiel. Traitée sous ce point de vue au moyen des formules générales du mouvement relatif, par Binet et par M. Quet, la théorie du pendule libre a conduit à des résultats conformes à ceux que le génie intuitif de Foucault lui avait signalés. Seulement, on ne perdra pas de vue que, dans cette analyse, on a sup-

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, séances du 13 février et du 6 mars 1882.

posé le pendule porté par un fil idéal, dont la section transversale est réduite à un point, et dans lequel, naturellement, il n'y a pas à se préoccuper de différences physiques en différents sens. Sur le terrain réel, le fil a toujours une section circulaire ou à peu près; son extrémité, encastrée dans une filière, participe forcément au mouvement de la Terre; toutes les fibres parallèles à la longueur du fil qui ont leur origine à son extrémité y éprouvent une sorte de torsion, qui tend à orienter le fil d'une certaine manière; la rotation qui en résulte entraîne la rotation de la boule autour de l'axe du fil, et met ainsi en jeu successivement l'élasticité du fil dans les différentes directions en le forçant à se plier tantôt en certains points, tantôt en d'autres. Qui ne voit là l'origine d'une foule de perturbations possibles?

Aussi, la théorie du pendule de Foucault a-t-elle été l'objet d'un grand nombre de savantes recherches, sans que l'on soit bien d'accord encore aujourd'hui sur tous les points. Les études de Poncelet (1), les Mémoires approfondis de Hansen (2), de Dumas (3), de MM. Serret et Yvon Villarceau (4) et, tout récemment, de M. le comte de Sparre (5), ainsi que les recherches expérimentales de M. Van der Willigen, à Harlem (6), montrent qu'il y a, dans cette question tant étudiée, bien des faces obscures, bien des problèmes non encore élucidés.

Toute la question a été reprise récemment, au point de vue théorique et expérimental, par un jeune savant hollandais, M. Kamerlingh Onnes. Dans une *Dissertation* assez étendue (7), il a montré que les expériences pendulaires de Foucault sont un cas particulier de phénomènes plus généraux, de perturbations pro-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 1860, séances du 24 septembre et du 1er octobre.

(2) *Theorie der Pendelbewegung mit Rücksicht auf die Gestalt und Bewegung der Erde.*

(3) *Journal de Crelle,* t. 50.

(4) *Comptes rendus des séances de l'Academie des Sciences,* 1872, 29 janvier, et 1879, 21 juillet.

(5) Thèse doctorale sur le mouvement du pendule conique à la surface de la Terre.

(6) *Le pendule Foucault au Musée Teyler* (*Archives du Musée Teyler,* t. I).

(7) *Nieuwe bewijzen voor de aswenteling der aarde,* Groningue, 1879, 290 p. et 4 planches.

duites par la rotation de la Terre dans les oscillations d'une tige élastique. Au laboratoire de Groningue, il a tenté l'expérience sous une forme toute nouvelle, caractérisée : 1° par le mode de suspension, qui consiste en un double système de couteaux d'acier croisés à angle droit, de façon à permettre des oscillations également libres dans tous les sens; 2° par la suppression de la résistance de l'air, le pendule étant renfermé dans une enveloppe conique où l'on a fait préalablement le vide; 3° par la faible longueur du pendule, qui mesurait seulement $1^m,2$ de longueur. La mise en mouvement du pendule, dans cet espace inaccessible à cause du vide, a demandé des dispositions ingénieuses qu'il serait trop long de décrire ici (1). L'observation des oscillations s'effectuait au moyen d'un rayon de lumière pénétrant par une ouverture dans l'enveloppe, s'y réfractant sur deux prismes, et arrivant par une autre ouverture à une lunette munie d'un oculaire micrométrique. M. Onnes pense que la disposition adoptée par lui comporte une précision bien plus grande que celle dont on faisait usage d'après Foucault, bien que le pendule soit beaucoup plus court. La moyenne de ses observations, prolongées pendant plusieurs mois, lui a donné 12°,04 pour la vitesse horaire de la rotation de la Terre autour de la verticale de Groningue, au lieu de 12°,03 que lui assigne la théorie, résultat assez remarquable.

V.

L'influence perturbatrice qu'exerce la rotation du globe sur les corps en mouvement à sa surface est d'autant plus sensible que leur vitesse est plus grande : c'est là ce que la Mécanique nous révèle. Mais sur ces corps en mouvement rapide, sur la balle d'un fusil par exemple, mille autres causes perturbatrices agissent généralement, et, de plus, l'observation en est à peu près impossible. Il paraissait donc que l'expérience eût peu de prise sur de semblables phénomènes.

Ce fut encore le génie de Foucault qui triompha de cette difficulté. Il eut recours, pour cela, aux propriétés singulières, et jus-

(1) *Voir* dans l'Ouvrage cité, p. 247-250.

qu'alors peu remarquées, du mouvement d'un corps lourd tournant rapidement autour d'un axe de symétrie, comme la toupie (1).

Lorsqu'on suspend, par la méthode de Cardan, l'axe de figure d'un disque en bronze renflé sur ses bords, d'un *tore*, suivant l'expression usitée, de manière à lui donner la liberté de se mouvoir dans tous les sens autour d'un point fixe de cet axe, et qu'on lui imprime une rotation rapide autour de l'axe, on observe de curieux phénomènes. Ce tore, que le moindre effort agitait tout à l'heure lorsqu'il était au repos, oppose maintenant une résistance très sensible au changement de direction de son axe, et l'on peut transporter le pied de l'instrument dans tous les sens, le faire pirouetter : l'axe du tore reste sensiblement parallèle à lui-même. Veut-on le forcer à dévier? On éprouve une résistance étrange dont on a peine à se rendre compte, et l'axe tend toujours à s'échapper dans une direction *perpendiculaire* à celle qu'on s'efforce de lui imposer. C'est la *loi de la tendance des axes de rotation au parallélisme,* loi qui se peut formuler ainsi : « Lorsqu'un corps tourne vivement autour d'un axe de symétrie, et qu'une force agit sur cet axe pour changer sa direction, en d'autres termes, pour faire tourner le corps autour d'un nouvel axe de rotation, le mouvement attendu ne se produit pas; mais on observe un déplacement de l'axe de symétrie, qui tend à se mettre parallèle au nouvel axe, et cela de telle façon que les deux rotations (celle que possède le tore et celle que la force tendait à produire) s'effectuent dans le même sens (2). » C'est ce qui se passe dans la toupie, lorsque, au lieu de se renverser par l'action de la pesanteur, son axe de figure

---

(1) Il est juste cependant de rappeler que Bohnenberger, parlant du petit appareil qui porte son nom, disait, en 1817 : « On peut le transporter dans des directions arbitraires et avec des vitesses quelconques, et pourtant l'axe de la sphère garde une direction constante. Si l'on a commencé à le diriger vers le nord, il se dirige dans toutes les positions vers le nord, comme une aiguille magnétique. » Et Poggendorff, citant ce passage *en juin* 1851, ajoutait : « En vertu de ce phénomène, la machine de Bohnenberger deviendrait, en même temps, un appareil pour la démonstration de la rotation de la Terre (peut-être pour la détermination de la latitude), si, ce qui ne semble pas impossible, on lui communiquait un mouvement continu par un ressort ». (*Annalen,* t. LXXXIII.)

(2) On nous permettra de renvoyer le lecteur, pour des explications plus complètes sur cette loi, à notre *Étude sur le problème de la rotation autour d'un point fixe* (*Annales de la Soc. Scient. de Bruxelles,* 2e année, 1878).

prend un mouvement conique autour de la verticale passant par son point d'appui. C'est encore là l'explication du jouet bien connu, qui nous montre un disque en rotation rapide, dont l'axe, supporté par une extrémité seulement, se maintient horizontal en dépit de la gravité. C'est enfin sur ce principe que sont fondés les ingénieux instruments de Fessel, de M. G. Sire, de M. Hardy, de M. Gruey. Parmi les conséquences importantes de ce principe, il faut signaler celle-ci : lorsque l'axe du tore est astreint, par un moyen quelconque, à rester dans un plan déterminé, et que ce plan est emporté lui-même dans le mouvement d'un support tournant autour d'une droite fixe, l'axe du tore en rotation ne peut rester en équilibre sur le plan mobile que dans la direction la plus rapprochée de la droite fixe.

Appuyé sur ces principes, après huit mois de lutte contre des

Fig. 1.

difficultés d'exécution presque insurmontables, Foucault présenta à l'Académie des Sciences, le 27 septembre 1852, un instrument construit par Froment avec une merveilleuse délicatesse, le *gyroscope*. Un tore en bronze T (*fig.* 1) est monté sur un axe d'acier,

dont les pointes pivotent librement sur deux vis implantées dans un anneau métallique A. Cet anneau repose, par des couteaux d'acier, sur deux plans durs, horizontaux, enchâssés dans un deuxième anneau B qui est vertical, suspendu à un fil sans torsion *f* et reposant sur un pivot, le tout porté par un support S dont le pied P est muni de vis calantes. Tel est l'instrument. En même temps que le tore tourne sur son axe, celui-ci peut s'orienter dans toutes les directions. Grâce à de petites vis plongeant dans la masse du tore, à d'autres masses mobiles distribuées sur les anneaux, on amène, à force de tâtonnements, le centre de gravité de tout le système mobile en coïncidence avec le point où se coupent l'horizontale passant par les arêtes des couteaux de l'anneau A et la verticale du fil auquel est suspendu l'anneau B; c'est le seul point fixe de tout ce système. La vis V sert à agir sur le fil suspenseur de manière à le débarrasser de toute torsion.

Ces diverses pièces sont montées avec une telle perfection qu'un souffle suffit à les mouvoir; mais cet état d'équilibre indifférent disparaît lorsque, transportant l'anneau A et le tore sur un rouage accélérateur dont la dernière roue dentée engrène avec un petit pignon monté sur l'axe du tore, on a communiqué à celui-ci une vitesse d'environ 200 tours par seconde et que l'on a replacé l'anneau et le tore sur le support. Dès cet instant, tout le système se consolide dans l'espace avec une surprenante énergie; la direction de l'axe d'acier est devenue, en quelque sorte, indépendante du mouvement de la Terre, qui ne s'y imprime plus que par une trépidation absolument insensible à l'œil.

Si l'axe était d'abord pointé sur une étoile, il continue à viser cette étoile tant que la vitesse du tore ne descend pas au-dessous d'une certaine limite, et par le déplacement apparent qu'il prend ainsi relativement aux objets environnants, comme une lunette montée sur un pied parallactique, déplacement que l'on observe au moyen d'un microscope, soit sur l'axe même, soit sur une des pièces de l'appareil, il révèle à l'observateur le mouvement réel de notre globe dans l'espace.

L'expérience comporte une forme peut-être plus décisive. Au lieu de laisser à l'axe du tore cette liberté complète d'orientation, fixons l'un à l'autre les anneaux A et B, de façon qu'il ne puisse plus se mouvoir que dans un plan horizontal : la tendance des

axes de rotation au parallélisme va produire son effet. L'axe du tore se dirigera vers le plan du méridien, oscillera de part et d'autre un certain temps, et finira par s'y arrêter, la pointe tournée vers le nord étant celle d'où la rotation du tore serait vue s'effectuant de droite à gauche. Laissons au contraire les couteaux libres, et maintenons l'anneau B perpendiculaire au plan du méridien : l'axe du tore ne pouvant plus que se balancer dans ce plan, après quelques oscillations, ira se fixer dans la direction parallèle à l'axe du monde, et l'équilibre n'aura lieu, cette fois encore, que lorsque les rotations de la Terre et du tore se feront dans le même sens.

Ainsi cet admirable instrument, en fournissant des signes sensibles de la rotation terrestre, peut même servir, en l'absence de la vue du ciel, à déterminer la direction de la méridienne et la latitude du lieu où se fait l'opération.

De savantes théories mathématiques ont, en perfectionnant nos connaissances mécaniques sur les corps tournants, confirmé les hardies déductions de Foucault; mais on ne doit pas se dissimuler les difficultés excessives que présente leur réalisation, et qui font du gyroscope un instrument d'un prix énorme, réservé au petit nombre. Bien peu de physiciens ont, après l'illustre inventeur, répété avec succès ces expériences si délicates.

Le gyroscope, en effet, pour fonctionner conformément aux vues de la théorie, doit satisfaire à un certain nombre de conditions *absolument rigoureuses* et presque irréalisables. La plus importante, en même temps que la plus difficile, est cette position idéale du centre de gravité du système mobile au point d'intersection de deux droites à peu près *géométriques*. Non seulement le tore doit, par sa construction, satisfaire à cette exigence que son centre de masse soit exactement sur la ligne qui joint les pivots de rotation, cette ligne étant, en outre, ce qu'on nomme un *axe d'inertie* du tore; mais il faut encore, par d'imperceptibles agissements sur les vis de réglage, amener très exactement le centre de gravité du tore et de l'anneau A sur la ligne d'arêtes des couteaux. Or, ceux qui ont passé de longues heures à essayer d'atteindre ce but savent que le problème est à peu près insoluble; qu'au moment où l'on semble y atteindre, les plus légères retouches suffisent pour faire passer le centre de gravité au-dessus, au-

dessous, à droite, à gauche, et pour modifier profondément la position d'équilibre du tore. D'ailleurs, il faut bien laisser un jeu, si imperceptible qu'il soit, entre les pivots de l'axe et les tourillons coniques dans lesquels ils tournent. Cela suffit pour que, dans le rapide mouvement du tore, son centre de gravité passe d'un côté à l'autre de l'axe de suspension, et comme le tore a forcément une masse considérable, il peut résulter de là une cause perturbatrice assez sensible pour masquer le phénomène principal. La force apparente due à la rotation de la Terre, qui tend à dévier l'axe du tore et à lui assigner une certaine position d'équilibre théorique, est excessivement faible; d'autre part, les anneaux A et B, les vis de réglage, les têtes des vis dans lesquelles l'axe pivote, constituent des masses relativement considérables qui augmentent l'inertie du système mobile sans tendre à développer les forces d'orientation; la faible action déviatrice de la Terre peut être insuffisante, si la vitesse rotatoire n'est pas excessive, à vaincre cette inertie compliquée de frottements. Voilà bien des motifs, pour l'opérateur consciencieux, de se demander si les phénomènes qu'il observe sont des signes réels de la gyration du globe, ou des indices révélateurs d'imperfections inconnues, contre lesquelles il trouve difficilement une garantie, un contrôle dans l'appareil lui-même.

Aussi ne sait-on ce qu'on doit le plus admirer, de l'instinct mécanique étonnant qui a guidé Foucault dans le choix des dispositions propres à rendre son appareil sensible aux influences du mouvement de la Terre, ou de la ténacité qu'il a dû déployer pour y vérifier les conditions qu'exigeait sa théorie, ou de l'habileté du constructeur célèbre à qui l'on a pu demander la réalisation d'un pareil programme.

VI.

Il y a trois ou quatre ans, dans le cours de recherches de Mécanique pure sur les mouvements apparents, nous fûmes amené à essayer l'application de la théorie à un très joli appareil imaginé et construit par M. G. Sire, le *pendule gyroscopique* [1].

---

[1] La théorie analytique du pendule Sire a été traitée avec beaucoup d'habileté

Dans cet ingénieux instrument, un tore en bronze T est mobile autour d'un axe dans une chape C, suspendue par une tige relativement légère à un axe horizontal, autour duquel cette espèce de *pendule* peut osciller librement. L'axe horizontal pose sur un support S qui se fixe par son pied, au moyen d'une vis, dans un azimut quelconque, sur un *bâti* ou *bras* horizontal P (*fig.* 2), lequel, à son tour, est lié en D à un arbre vertical auquel un système d'engrenages communique une rotation assez rapide. Quand le tore est en repos, la tige pend verticalement, et, si l'on fait tourner le bâti P autour de son axe D, le pendule ne s'écarte guère de cette position d'équilibre stable que lui assigne la pesanteur. Mais les choses se modifient profondément si l'on a d'abord communiqué au tore

Fig. 2.

une rotation rapide autour de son axe de figure. On voit alors, dès que le bras a acquis une vitesse suffisante, la tige quitter sa position verticale et se porter, soit vers l'axe central D, soit vers le dehors, d'après le sens dans lequel tourne le tore, le support S ayant la position marquée sur la figure; l'axe du tore tend, conformément au principe du parallélisme des axes, à rapprocher sa direction de celle de l'axe central, et y parvient si les vitesses gyratoires sont assez rapides.

Lorsque l'on fixe le support dans une position telle que le plan d'oscillation du pendule soit à angle droit sur le bras P, on observe des phénomènes aussi paradoxaux. Le pendule, obéissant au

---

par M. Resal (*Annales des Mines,* 1859), mais il s'agissait d'appliquer une méthode différente.

même principe, se porte en avant ou en arrière du mouvement du bâti, selon le sens de la rotation qu'on a imprimée d'avance au tore.

Frappé de cette idée que la rotation de la Terre devrait produire, sur un pendule gyroscopique suspendu à un axe horizontal fixe, des effets analogues à ceux que la rotation du bâti P développe ici dans l'appareil de M. Sire, pourvu que l'instrument fût construit dans des conditions de sensibilité et de précision suffisantes, nous essayâmes d'aborder par l'analyse ce problème intéressant.

La question n'était pas simple. On n'avait guère considéré jusqu'alors, dans cet ordre de recherches, que le cas où, comme dans le gyroscope de Foucault, le centre de gravité du système mobile est fixé; où l'on n'a, par conséquent, à combiner que les effets de la rotation de la Terre et de celle du gyroscope. L'action de la gravité sur le système suspendu compliquait nécessairement le phénomène; il y avait de plus à tenir compte de la masse de la chape, etc. Mais une forme très simple, que nous avions réussi à donner aux équations du mouvement des corps pesants à la surface de la Terre, facilitait beaucoup la solution de ce problème ardu, et nous arrivâmes à déterminer les conditions de l'équilibre relatif et du moument du pendule gyroscopique sous l'influence de la rotation terrestre, pour un azimut quelconque du plan d'oscillation. Nous reconnûmes ainsi que, pour une vitesse très grande du tore, le pendule ne pouvait conserver sa position verticale d'équilibre, qu'il devait s'en écarter vers la droite ou vers la gauche suivant que le tore tournerait dans un sens ou dans l'autre.

Mais les mêmes calculs qui conduisaient à ces résultats montraient que l'*inertie* du pendule autour de son axe de suspension exigerait, pour obtenir une déviation à peine sensible, que l'on imprimât au disque T une vitesse rotatoire dépassant toute limite raisonnable; dans les conditions habituelles de l'appareil, un écart de 8′ était tout ce que l'on pouvait espérer. Nous fûmes ainsi amené à étudier des dispositions plus avantageuses, où l'on eût fait une part moins large à l'inertie des masses mobiles. Un premier projet nous conduisit à une sorte de balance à deux tores, dont le fléau eût été en équilibre horizontal dans le plan du méridien, et se fût incliné plus ou moins dans les autres azimuts.

Mais, ici encore, l'inertie du système autour de son axe de sus-

pension rendait l'expérience peu accessible. Guidé par les indications très précises que fournissait la théorie, nous avons adopté définitivement une autre disposition qui rapprochait davantage de l'axe les centres des masses en mouvement, et c'est cette dernière tentative qui, grâce à la bonne volonté et à l'habileté d'un constructeur bien connu, M. E. Ducretet, nous a enfin conduit au résultat désiré.

Imaginons un tore en bronze D (*fig.* 3), dont l'axe d'acier a pi-

Fig. 3.

vote librement dans les tourillons coniques creusés dans des vis en acier v et v', qui traversent une chape CC en acier anglais, reposant par les couteaux A et A' sur des surfaces en acier trempé, de forme cylindrique, dont les couteaux occupent le fond. Ce système présente une symétrie exacte par rapport au plan passant par l'axe du tore et les arêtes des couteaux, et sa mobilité autour de celles-ci est telle qu'un souffle léger suffit à provoquer des oscillations. En agissant sur les vis v et v', sur d'autres vis u et u', on

amène, par tâtonnements successifs, le centre de gravité du tore et de la chape à se trouver sensiblement sur l'axe de suspension, en sorte que l'appareil resterait de lui-même (théoriquement) dans un état d'équilibre indifférent autour de cet axe. Mais la vis inférieure v' porte, en prolongement de l'axe du tore, une aiguille sur laquelle glisse, à frottement dur, un petit poids curseur p, qui, *lorsque le tore* D *est en repos,* assure à l'aiguille ou à l'axe du tore une position verticale d'équilibre *stable,* ce dont on s'assure en faisant osciller le système autour de l'axe de suspension. Enfin le support S des couteaux est monté sur un pied H, de façon à tourner à frottement dur autour d'un axe vertical, en sorte qu'on peut amener dans tous les azimuts le plan vertical passant par la ligne d'arêtes des couteaux.

L'axe du tore porte un pignon d'acier E destiné à être mis en rapport avec un système d'engrenages ou rouage accélérateur de Foucault, servant à communiquer au tore une rotation extrêmement rapide (150 tours par seconde environ).

Après avoir, au moyen des vis calantes V, V′, V″ et d'un niveau, assuré l'horizontalité de l'axe de suspension, on porte la chape sur le rouage moteur et l'on imprime au tore une rotation très rapide dans un sens voulu, après quoi l'on replace le système mobile sur son support en le guidant par des fourchettes F, afin que les arêtes des couteaux occupent exactement la position horizontale qui leur est assignée. C'est à cet instant que se développent les phénomènes délicats, mais bien nets, qui accusent la rotation du globe terrestre. La position d'équilibre stable du tore et de la chape ne répond plus, généralement, à une direction verticale de l'aiguille, et la théorie nous apprend ce qui suit :

1° C'est quand le plan d'oscillation de l'aiguille coïncide avec le plan du méridien que la déviation est la plus forte. L'aiguille se porte, par des oscillations décroissantes, vers le nord ou vers le sud, suivant que le tore tourne de gauche à droite ou de droite à gauche pour l'observateur qui le regarde d'*en haut,* la déviation étant d'ailleurs sensiblement plus forte dans le premier cas que dans le second.

2° Au contraire, si le plan d'oscillation de l'aiguille est perpendiculaire au méridien, ce qu'on réalise facilement, même pendant le mouvement du tore, en faisant tourner le support S sur son

pied, la position d'équilibre stable de l'aiguille est de nouveau verticale, comme lorsque le tore était immobile, et cela, quel que soit le sens de la gyration du tore.

3° Dans les azimuts intermédiaires, la position d'équilibre est plus ou moins inclinée entre les deux limites extrêmes.

4° L'inclinaison de l'aiguille, quand l'équilibre a lieu, est d'autant plus marquée que le tore tourne plus rapidement, que son diamètre est plus grand, que l'expérience se fait en un lieu plus rapproché de l'équateur, enfin que la distance du curseur p à l'axe de suspension est plus petite. On pourrait même réaliser une déviation allant jusqu'à l'horizontalité de l'aiguille, au moyen d'une vitesse de rotation suffisante.

L'appareil construit par M. Ducretet, moyennant certaines précautions auxquelles on s'accoutume facilement, réalise d'une manière très nette cet ensemble de phénomènes; nous lui avons donné le nom de *barogyroscope*, afin de rappeler que son principe repose sur une combinaison des effets de la pesanteur avec ceux de la rotation de la Terre et du disque.

L'avantage qu'il nous paraît offrir sur d'autres appareils destinés au même objet, indépendamment d'une exécution plus facile, c'est qu'il porte avec lui ses propres moyens de contrôle. Rien de plus simple que de vérifier, par la verticalité de l'aiguille, quand le tore est au repos, que le centre de gravité du système est dans la position voulue. Les phénomènes observés pendant la rotation du tore ne sont plus explicables, dès lors, que par le mouvement de la Terre, et d'ailleurs leur conformité avec les formules théoriques qui les ont fait découvrir ne peut laisser aucun doute sur leur origine.

L'Analyse mathématique nous a guidé constamment dans la construction de l'instrument, dans le choix des métaux, dans la forme de la chape, dans la distribution et la forme des masses pour obtenir des effets certains, sensibles, dont la valeur a été mesurée d'avance. Sous ce rapport, on pourrait dire que, si le gyroscope de Foucault fait surtout honneur au génie de l'inventeur et à son habileté expérimentale, notre appareil est principalement une démonstration de l'utilité de la Mécanique analytique.