

CHAPITRE III.

MAGNÉTISME TERRESTRE.

§ 1. Description et théorie des instruments.

Nous avons déjà parlé dans le premier volume¹ de la propriété que possèdent les aimants d'affecter une direction déterminée sous l'influence du globe terrestre; nous avons même décrit quelques-uns des appareils au moyen desquels on parvient à déterminer cette direction, soit dans un plan vertical, soit dans un plan horizontal, c'est-à-dire la boussole d'inclinaison et celle de déclinaison. Maintenant nous sommes appelés à revenir sur la force elle-même qui produit cette direction, et qu'on a désignée sous le nom de *magnétisme terrestre*; elle est un des modes de manifestation des sources naturelles de l'électricité, puisque le magnétisme lui-même n'est qu'une forme particulière de l'électricité. Nous verrons en effet par l'étude que nous allons en faire que c'est bien du globe terrestre qu'émane la puissance qui agit sur les aimants placés à sa surface, et, après avoir cherché à analyser cette force dans ses différents éléments, nous essayerons d'en découvrir l'origine.

La force magnétique de notre globe se manifeste à sa surface par trois classes de phénomènes, savoir : la *déclinaison* de l'aiguille aimantée, son *inclinaison*, et l'*intensité* avec laquelle la force agit sur l'aiguille. Ainsi que nous l'avons déjà dit, la déclinaison est l'angle que forme avec la direction du méridien du lieu, la direction de l'aiguille aimantée placée sur un pivot vertical ou suspendue à l'aide d'un fil sans torsion de manière

¹ Tome I, page 154.

à ce qu'elle se tienne horizontale. L'inclinaison est l'angle que forme avec l'horizon dans le méridien magnétique la direction d'une aiguille aimantée soutenue par son centre de gravité, autour duquel elle peut tourner librement dans un plan vertical. Ces trois éléments, la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité, varient non-seulement d'un lieu à l'autre, mais dans un même lieu avec le temps; ils éprouvent même, dans l'intervalle des vingt-quatre heures qui constituent le jour, des variations fort petites il est vrai, mais cependant appréciables et soumises à une régularité remarquable; ils manifestent aussi quelquefois des variations irrégulières et accidentelles désignées sous le nom de perturbations, et dont l'existence est liée avec la présence de quelque phénomène naturel, tel en particulier que celui de l'aurore boréale.

On comprend combien il importe pour l'étude du magnétisme terrestre, qui est lui-même une partie si essentielle de la physique terrestre, qu'on ait des appareils susceptibles de donner avec la plus grande précision possible la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité, soit d'une manière absolue dans un instant et dans un lieu déterminés, soit dans les variations qu'elles éprouvent d'un lieu à un autre, ou d'un moment à un autre dans un même lieu. Parmi les nombreux appareils qui ont été imaginés dans ce but, nous nous bornerons à décrire : 1° ceux de Gambey, qui ont été longtemps employés à l'Observatoire de Paris et qui sont fondés sur les mêmes principes que les instruments usuels dont nous avons déjà parlé dans le premier volume, mais dans lesquels l'habile artiste français a introduit beaucoup de perfectionnements de détail; 2° les appareils de Gauss désignés sous le nom de *magnétomètres*, et dont l'emploi a largement contribué aux progrès qu'a faits depuis quelques années l'étude du magnétisme terrestre; 3° enfin les appareils enregistreurs, qui ne présentent rien de nouveau quant au fond, mais qui sont construits de manière que les observations s'enregistrent elles-mêmes.

La boussole de déclinaison de Gambey (fig. 355) présente un cercle horizontal gradué qui repose sur un trépied à vis calantes et se trouve lié à une lunette de repère, au moyen de

laquelle on peut s'assurer, en visant une mire avant et après l'observation, que le limbe est resté fixe. L'axe du cercle est percé et reçoit un axe intérieur qui porte une alidade munie

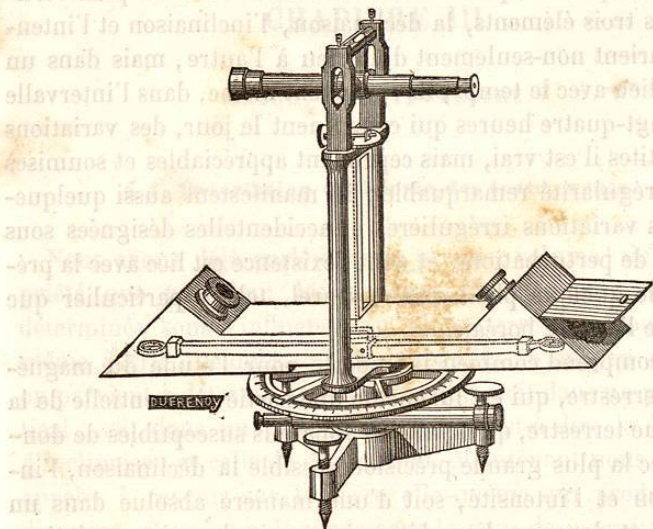


Fig. 355.

de verniers et une plaque sur laquelle est fixée toute la partie mobile de l'appareil; celle-ci se compose de deux colonnes verticales réunies par une traverse à moitié environ de leur hauteur et portant à leur extrémité supérieure un axe horizontal, auquel est fixée une lunette. Un barreau aimanté prismatique ayant environ 0^m50 de long, muni à chacune de ses extrémités d'un anneau portant deux fils en croix, repose sur un étrier auquel est attaché un fil sans torsion enroulé par sa partie supérieure sur un petit treuil que supporte la traverse fixée aux colonnes. Une boîte qui met le barreau aimanté à l'abri des courants d'air est percée à chacune de ses extrémités de deux ouvertures, l'une permettant de viser la croisée des fils avec la lunette, l'autre destinée à éclairer ces mêmes fils. Enfin il n'est pas besoin d'ajouter que toutes les parties de l'appareil sont en cuivre rouge et qu'il ne doit pas s'y trouver la moindre parcelle de fer. Au moyen de cet instrument, on détermine l'angle

que fait le plan vertical passant par l'axe magnétique du barreau en équilibre et le plan méridien du lieu, ou tout autre plan vertical dont on détermine l'azimut. En remplaçant d'abord le barreau aimanté par un prisme de cuivre parfaitement semblable, on s'assure, en visant ces réticules dans le microscope, que lorsque le fil est sans torsion, le plan vertical passant par l'axe optique du microscope contient l'axe du barreau. On replace alors l'aimant dans l'étrier et on fait tourner toute la partie mobile de l'instrument jusqu'à ce que l'on voie coïncider avec le fil qui dans le microscope détermine son axe optique, le point de croisement des fils du barreau immobile et par conséquent en équilibre; à ce moment, le plan vertical passant par l'axe optique est le plan du méridien magnétique, si nous admettons toutefois que l'axe magnétique du barreau est le même que son axe de figure. La même opération, répétée après avoir retourné l'aimant, donne rigoureusement le méridien magnétique; il ne reste plus maintenant qu'à mesurer l'angle dont il faut faire tourner le système mobile pour que ce même axe optique vienne passer soit par une étoile, soit par un objet dont on connaisse la position. Or, pour cela il faut que le microscope, tout en conservant son axe, se transforme en une lunette, et c'est dans ce but que son objectif est formé de deux parties différentes: l'une centrale, beaucoup plus convexe, formant à elle seule l'objectif du microscope; et l'autre périphérique, plus aplatie, formant l'objectif d'une lunette astronomique. Un diaphragme qui couvre à volonté l'une ou l'autre de ces deux parties rend la lunette propre à l'usage qu'on en veut faire. Nous n'avons pas parlé des précautions qu'il faut prendre pour rendre l'instrument horizontal, ni du nombre de fois qu'il convient de répéter l'observation pour en rendre le résultat le plus exact possible; il faut à cet égard appliquer les mêmes règles qui régissent l'usage des instruments d'astronomie.

Quand il s'agit, non plus d'observer la déclinaison absolue, mais les variations de la déclinaison, il faut un instrument un peu différent dont voici la description. Deux colonnes fixes (fig. 356) supportent un treuil autour duquel est enroulé le fil

qui porte le barreau aimanté; ce barreau est terminé à chacune de ses extrémités par une plaque en ivoire sur laquelle est

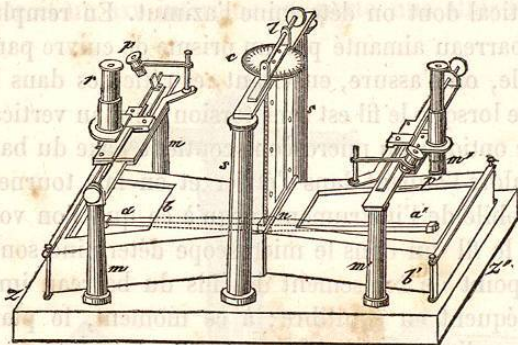


Fig. 356.

tracée une division en quarts de millimètre symétriquement autour de son axe. Un microscope, mobile au moyen d'une vis de rappel le long d'une échelle sur laquelle est disposée une loupe pour faciliter les lectures, sert à observer la marche de chacune des extrémités du barreau; enfin, une boîte qui contient l'aimant et un cadre à glaces qui recouvre le fil, mettent l'appareil à l'abri des courants d'air. Pour se servir de cet instrument, après avoir nivelé le barreau et amené les fils intérieurs des microscopes en coïncidence avec l'axe, on mesure les variations de la déclinaison, soit en comptant les divisions de l'échelle gravée sur la plaque d'ivoire, qui passent sous le fil du microscope, soit en tournant la vis de rappel du microscope, de manière à faire rester son réticule en coïncidence avec l'axe du barreau, et en lisant ensuite de combien on l'a avancé ou reculé.

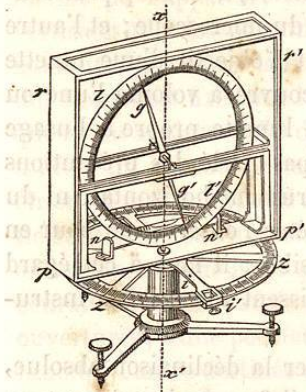


Fig. 357.

La boussole d'inclinaison dont nous avons déjà donné une description abrégée dans notre premier volume¹, se compose (fig. 357) d'un

¹ Tome I, page 157, figure 14.

cercle horizontal divisé en demi-degrés et donnant la minute au moyen de verniers, sur lequel se meut une alidade fixée à une plaque solide. Sur cette plaque s'élèvent deux colonnes qui supportent un double châssis et un cercle vertical; le châssis extérieur est fixe, tandis que le châssis intérieur est mobile autour d'une de ses extrémités, et sert à ramener, par le mouvement dont il est susceptible, le centre de l'aiguille en coïncidence avec le centre du cercle vertical. L'axe de l'aiguille passe dans deux entailles qui la soutiennent lorsqu'on n'observe pas, et ses pivots viennent s'appuyer sur des petits plans en agate ou en cristal de roche. Indiquons maintenant les précautions qu'il faut prendre pour la détermination de l'inclinaison, point important que nous n'avons pas traité, quand nous avons parlé dans le tome I^{er} de la boussole d'inclinaison. On sait qu'il est très-rare de trouver une aiguille dont le centre de gravité coïncide parfaitement avec le centre de suspension, d'où il résulte que la direction que prend l'aiguille est la résultante des deux forces qui agissent sur elle, l'une le magnétisme terrestre et l'autre la pesanteur; c'est pour cela qu'il devient nécessaire de retourner les pôles de l'aiguille. Mais il faut bien remarquer que la moyenne des valeurs trouvées pour l'inclinaison avant et après le retournement des pôles, ne doit donner l'inclinaison vraie qu'autant que la distribution de la force magnétique dans l'aiguille est parfaitement symétrique et n'est point altérée par le renversement des pôles; or c'est ce qui n'a pas toujours lieu, surtout quand l'aiguille dont on se sert est nouvelle, en sorte qu'il serait plus prudent, avant de remettre l'aiguille en expérience, de la faire osciller pour s'assurer que sa force magnétique est restée la même. Une seconde cause d'erreur est la non coïncidence de l'axe magnétique avec l'axe de figure de l'aiguille; on en tient compte en retournant l'aiguille sur ses tourillons avant et après le renversement des pôles, en sorte qu'une observation d'inclinaison exige, suivant cette méthode, quatre mesures d'angles. Mais pour que la moyenne de ces quatre observations soit exacte, il faut admettre que le diamètre du cercle divisé, qui passe par la division 90°, est vertical; s'il

en était autrement, l'angle compris entre la verticale et ce diamètre donnerait une erreur sur le résultat observé; il importe d'éliminer cette erreur, et le moyen le plus sûr d'y parvenir est d'opérer chaque fois le retournement de tout l'instrument qui doit être mobile autour d'un axe vertical, et muni de niveaux permettant de s'assurer que cet axe reste vertical pendant le retournement. L'observation complète de l'inclinaison se compose ainsi de huit observations au lieu de quatre.

L'intensité est celui des éléments du magnétisme terrestre dont la détermination présente les plus grandes difficultés. En effet, la valeur de la force directrice qui agit sur une aiguille et qui peut être mesurée par divers procédés, ne dépend pas seulement de l'intensité du magnétisme terrestre, mais aussi de l'état magnétique de l'aiguille elle-même. Il en résulte que la détermination de cette force directrice sur une même aiguille en différents points du globe, ne pourra faire connaître les intensités relatives du magnétisme terrestre en ces différents lieux, qu'autant que l'état magnétique de cette aiguille sera resté invariable durant tout le cours de ces observations, ce qui est très-rare, ou qu'on pourra connaître la manière dont il a varié, ce qui est extrêmement difficile. On comprend donc l'importance qu'il y avait à pouvoir mesurer d'une manière absolue l'intensité magnétique, indépendamment des aiguilles qui serviraient à cette détermination. Poisson avait déjà appliqué le calcul à cette question, et résolu le problème en indiquant une méthode à suivre fondée sur l'emploi simultané de deux aiguilles; mais c'est Gauss qui, le premier, en suivant une marche analogue, a rendu pratique une conception qui, jusqu'à lui, avait paru purement spéculative¹. Nous reviendrons sur l'application de cette méthode, et, en général, sur le mode à suivre pour se mettre à l'abri de la cause d'erreur que nous venons de signaler; mais auparavant il nous faut décrire les procédés mêmes au moyen desquels on mesure la force directrice du magnétisme terrestre.

Jusqu'à l'invention du magnétomètre bifilaire au moyen

¹ Voyez la note finale A, pour le développement de cette méthode.

duquel Gauss a pu la déterminer avec une extrême précision, comme nous le verrons plus loin, en fonction d'une résistance étrangère qui maintient un barreau aimanté hors de sa position d'équilibre, la seule méthode connue consistait à faire osciller une aiguille aimantée. C'est à ce procédé que l'on doit la presque totalité des observations faites jusqu'à ce jour; il comporte des instruments beaucoup plus portatifs que le magnétomètre, et qui peuvent être appliqués, quoique avec moins de précision, il est vrai, à la recherche de l'intensité absolue¹.

La force directrice du globe s'exerçant suivant la direction de l'aiguille d'inclinaison, il faut, pour trouver directement l'intensité de cette force, ou plutôt le rapport des intensités de cette force en deux lieux différents, faire osciller l'aiguille d'inclinaison autour de sa position d'équilibre. Si n et n' sont les nombres d'oscillations exécutées dans le même temps par l'aiguille, en désignant par G et G' les intensités correspondantes, on a :

$$\frac{G}{G'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

Cette méthode a été suivie par plusieurs observateurs, et en particulier par M. de Humboldt, mais elle n'est exacte qu'autant que le poids de l'aiguille est entièrement supprimé; en outre, le frottement qui est considérable dans ce mode de suspension, et peut-être aussi le magnétisme de rotation, contribuent à arrêter l'aiguille.

Il est donc préférable, comme on l'a généralement pratiqué, de faire osciller l'aiguille de déclinaison; on détermine ainsi la composante horizontale de la force directrice, et si g et g' représentent maintenant les composantes horizontales en deux lieux où l'on ait en même temps observé les inclinaisons I et I' , les forces directrices totales G et G' auront pour rapport :

$$\frac{G}{G'} = \frac{g}{g'} \frac{\cos. I'}{\cos. I}$$

La boussole d'intensité de M. Gambey (fig. 358) présente

¹ Voyez la note A.

une caisse ronde de bois qui est percée de deux ouvertures diamétralement opposées. Le microscope sert à compter les oscillations de l'aiguille lorsqu'elles deviennent très-petites.

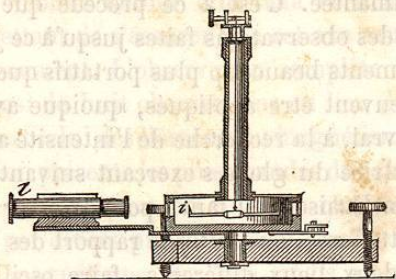


Fig. 358.

Un arc gradué que parcourt l'extrémité de l'aiguille mesure les amplitudes et la manière dont elles décroissent. Le fil auquel est suspendue l'aiguille doit être un fil de cocon bien délié, de manière à n'opposer par sa torsion qu'une très-faible résistance aux mouvements de l'aimant. Tous les appareils qui ont servi aux observations d'intensité ont la plus grande analogie avec celui-ci, et se composent toujours essentiellement d'une aiguille de déclinaison dont on peut compter les oscillations.

Voici maintenant, en quelques mots, la manière de procéder dans ces observations. On s'assure que l'aiguille est horizontale, et on l'écarte de sa position d'équilibre autant que possible dans un plan horizontal, d'un angle d'environ 20° , car si la déviation primitive était moindre, on ne pourrait pas compter un nombre suffisant d'oscillations, ce qui nuirait à l'exactitude du résultat. Mais, d'un autre côté, la formule du pendule dont on se sert pour trouver l'intensité de la force directrice qui agit sur l'aiguille n'est rigoureuse que pour des oscillations infiniment petites, en sorte qu'il faut corriger le résultat, c'est-à-dire la durée observée pour un certain nombre d'oscillations, au moyen d'une formule dans laquelle entrent l'amplitude des oscillations et la manière dont cette amplitude a diminué; on

doit aussi tenir compte de la raideur du fil auquel est suspendue l'aiguille, et on y arrive en remplaçant l'aiguille aimantée par une aiguille de cuivre de même forme et de même poids, dont on observe les oscillations; on obtient ainsi la durée de l'oscillation corrigée. Il est évident que pour ces observations, comme pour toutes celles où le temps est une des données de la question, il faut pouvoir l'évaluer avec une grande exactitude. Il est encore un élément très-important à déterminer, qui est la température de l'aiguille pendant l'expérience; on sait en effet que le magnétisme d'un aimant diminue à mesure que la température s'élève; il faut donc tenir compte de cette cause d'altération dans la durée des oscillations et pouvoir ramener toutes les observations destinées à être comparées entre elles à une même température; pour cela, chaque aiguille dont on se sert doit être soumise à un certain nombre d'expériences; on la fait osciller en la maintenant successivement à des températures différentes, et, si on a soin de choisir toujours la même heure de la journée, on peut admettre que la force magnétique terrestre est la même pour toutes les expériences et que les différences dans la durée des oscillations sont dues uniquement aux différences de température; on détermine ainsi les constantes d'une formule de correction; c'est ce que M. Kupffer a fait avec beaucoup de soin. Enfin, nous avons déjà dit qu'il est essentiel que l'aiguille aimantée conserve sa force sans aucune altération durant une série d'expériences comparables, ou du moins qu'au commencement et à la fin, des expériences soient faites dans un même lieu, afin qu'on puisse vérifier les altérations survenues, et, si elles n'étaient pas trop abondantes, corriger les résultats par voie d'interpolation.

Lorsqu'il s'agit d'observations à faire dans un même lieu, il y a un grand avantage à se servir d'une nouvelle classe d'instruments magnétiques de beaucoup supérieurs aux anciens, à la fois par la sensibilité et par l'exactitude, et qui ont été imaginés par Gauss; ces appareils sont depuis longtemps employés à l'Observatoire magnétique de Göttingue, où ils ont été établis pour la première fois; leur usage s'est promptement répandu dans toute l'Allemagne, et de là successivement dans