

## LIVRE VIII.

### DU MAGNÉTISME.

#### CHAPITRE PREMIER.

##### PROPRIÉTÉS DES AIMANTS.

583. **Aimants naturels et aimants artificiels.** — On nomme *aimants*, des substances qui ont la propriété d'attirer le fer et quelques autres métaux, qui sont le nickel, le cobalt et le chrome. Toutefois nous citerons bientôt des expériences qui prouvent que les aimants agissent réellement sur tous les corps, tantôt par attraction, tantôt par répulsion, mais d'une manière très-faible (591).

On distingue des aimants naturels et des aimants artificiels. L'*aimant naturel*, ou *Pierre d'aimant*, est un oxyde de fer, connu, en chimie, sous le nom d'*oxyde magnétique*. Sa formule est  $\text{Fe}^{\text{O}} = \text{FeO} + \text{Fe}^{\text{2O}^3}$ ; c'est-à-dire qu'il est formé d'un équivalent de protoxyde et d'un équivalent de sesquioxyde. L'oxyde magnétique est très-abondant dans la nature; on le rencontre dans les terrains anciens, et surtout en Suède et en Norvège, où on l'exploite comme minerai de fer, et où il donne la meilleure qualité de fer connue. Toutefois la plupart des échantillons d'oxyde de fer magnétique n'attirent pas le fer; ce n'est qu'accidentellement qu'ils sont doués de cette propriété.

Les *aimants artificiels* sont des barreaux ou des aiguilles d'acier trempé (75), qui ne possèdent pas naturellement les propriétés des aimants naturels, mais qui les ont acquises par des frictions avec un aimant, ou par des procédés électriques qui seront décrits plus tard. On forme aussi des aimants artificiels avec du fer *doux*, c'est-à-dire sensiblement exempt de toute matière étrangère; mais leur aimantation n'est pas durable comme celle des barreaux d'acier.

Les aimants artificiels sont plus puissants que les aimants naturels, mais jouissent de propriétés complètement identiques.

Le pouvoir attractif des aimants s'exerce à toutes les distances et à travers tous les corps; il décroît très-vite quand la distance augmente, et varie avec la température. Coulomb a fait voir que l'intensité magnétique d'un barreau diminue à mesure qu'on élève sa température, et reprend sa valeur première quand il revient à la température primitive, pourvu qu'on n'ait pas dépassé une certaine limite; car, à la température rouge, les aimants perdent complètement leur puissance attractive.

L'attraction que l'aimant exerce sur le fer est réciproque, ce qui est, du reste, un principe général de toutes les attractions. On le vérifie en présentant une masse de fer à un aimant: celui-ci est attiré.

La force attractive des aimants a reçu le nom de *force magnétique*, et leur théorie physique se désigne elle-même sous le nom de *magnétisme*<sup>1</sup>, expression qu'on ne doit pas confondre avec celle de *magnétisme animal*, qu'on a adoptée pour exprimer l'influence qu'une personne exercerait sur une autre par l'empire de sa volonté, influence qui est loin d'être démontrée.

584. **Pôles et ligne neutre.** — Les aimants ne possèdent pas, dans tous leurs points, la même force magnétique. En effet, si l'on roule un barreau aimanté dans de la limaille de fer, on voit celle-

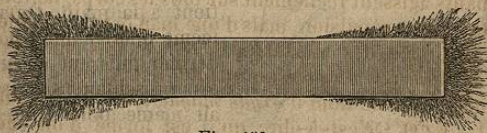


Fig. 432.

ci adhérer abondamment vers les extrémités du barreau sous la forme de houppes hérissées (fig. 452); mais l'adhérence de la limaille décroît rapidement à mesure qu'on s'éloigne des extrémités, jusqu'à la région moyenne du barreau, où elle est nulle. La partie de la surface de l'aimant où la force magnétique est insensible a reçu le nom de *ligne neutre*, et les deux points voisins des extrémités, où se manifeste le maximum d'attraction, se nomment *pôles*. Tout aimant, naturel ou artificiel, présente deux pôles et une ligne neutre; toutefois, dans l'aimantation des barreaux et des aiguilles, il se produit parfois des alternatives de pôles contraires situés entre les pôles extrêmes. Ces pôles intermédiaires se nomment *points conséquents*. Tantôt ils sont en nombre pair, tantôt en

<sup>1</sup> Le mot *magnétisme* vient du nom grec *μαγνης*, sous lequel les anciens désignaient la pierre d'aimant, parce que c'est, dit-on, près de la ville de Magnésie, en Lydie, qu'ils trouvèrent d'abord ce minerai.

nombre impair. Nous supposerons toujours que les aimants n'ont que deux pôles, ce qui est le cas ordinaire.

Les pôles se désignent, l'un sous le nom de *pôle austral*, l'autre sous celui de *pôle boréal*, expressions empruntées à l'action que les pôles terrestres exercent sur les pôles des aimants (592). Dans nos dessins, le pôle austral sera toujours représenté par les lettres *a* ou *A*, le pôle boréal par les lettres *b* ou *B*, et l'on appellera pôles de même nom ceux qui sont représentés par les mêmes lettres.

585. **Actions mutuelles des pôles.** — Les deux pôles d'un aimant paraissent identiques quand on les présente à de la limaille de fer; mais cette identité n'est qu'apparente. En effet, qu'on suspende une petite aiguille aimantée *ab* (fig. 453) à un fil fin, et

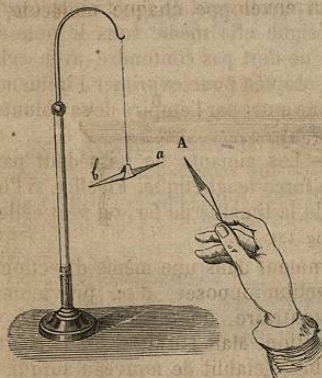


Fig. 433.

qu'on approche du pôle austral *a* le pôle austral *A* d'une autre aiguille, on remarque une vive répulsion; qu'on approche, au contraire, le pôle *A* du pôle boréal de l'aiguille mobile, il se produit une forte attraction. Donc les pôles *a* et *b* ne sont pas identiques, puisque l'un est repoussé et l'autre attiré par le même pôle *A* de l'aimant qu'on tient à la main. On vérifie de même que les deux pôles de ce dernier diffèrent entre eux, en les présentant successivement au même pôle *a* de l'aiguille mobile. Avec l'un, il y a répulsion, et attraction avec l'autre. On peut donc poser cette loi simple sur les actions réciproques qui s'exercent entre deux aimants :

*Les pôles de même nom se repoussent, et les pôles de noms contraires s'attirent.*

Les actions contraires du pôle boréal et du pôle austral se démontrent encore par l'expérience suivante. On fait porter à un barreau aimanté un objet de fer, une clef, par exemple; puis sur ce premier barreau, on en fait glisser un second sensiblement de même force, en ayant soin de mettre en regard les pôles contraires (fig. 454). La clef continue à être portée, tant que les deux pôles sont éloignés; mais aussitôt qu'ils sont suffisamment rapprochés, elle tombe, comme si le barreau qui la soutenait avait perdu tout à coup sa propriété magnétique; cependant il n'en est rien, car celui-ci peut la porter de nouveau aussitôt qu'on a retiré le second barreau.

586. **Hypothèse des deux fluides magnétiques.** — Pour expliquer les phénomènes qu'on vient de faire connaître, les physiciens ont été conduits à admettre l'hypothèse de deux fluides magnétiques, agissant chacun par répulsion sur lui-même et par attraction sur l'autre fluide. Ces deux fluides ont reçu les noms, l'un de *fluide austral*, et l'autre de *fluide boréal*, du nom des pôles des aimants où leurs actions sont prépondérantes.

On admet qu'avant l'aimantation, ces fluides sont combinés autour de chaque molécule et se neutralisent réciproquement, mais qu'ils peuvent être séparés sous l'influence d'une force plus grande que leur attraction mutuelle, et se déplacer autour des molécules sans sortir de la sphère d'activité qui leur est assignée autour de chacune d'elles. Les fluides sont alors *orientés*, c'est-à-dire que dans la sphère magnétique qui enveloppe chaque molécule, le

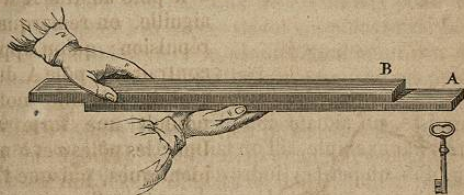


Fig. 434.

fluide boréal est tourné constamment dans une même direction et le fluide austral dans une direction opposée, d'où proviennent deux résultantes de direction contraire, dont les deux pôles de l'aimant sont les points d'application. Mais aussitôt que l'orientation des fluides cesse, l'équilibre s'établit de nouveau autour de chaque molécule, et la résultante finale est nulle, c'est-à-dire qu'il n'y a plus attraction ni répulsion.

L'hypothèse des deux fluides magnétiques se prête d'une manière fort simple à l'explication des phénomènes : aussi est-elle généralement adoptée comme méthode de démonstration. Toutefois on verra plus tard que les phénomènes magnétiques paraissent résulter non des actions opposées de deux fluides spéciaux, mais de courants particuliers de la matière électrique dans les corps aimantés; hypothèse qui offre l'avantage de rattacher la théorie du magnétisme à celle de l'électricité (727).

587. **Différence entre les substances magnétiques et les aimants.**

— On nomme *substances magnétiques*, les substances qui sont attirées par l'aimant, comme le fer, l'acier, le nickel. Ces substances contiennent les deux fluides, mais à l'état de neutralisation. Les composés ferrugineux sont généralement magnétiques, et le sont

d'autant plus, qu'ils contiennent plus de fer. Quelques-uns cependant, comme le persulfure de fer, ne sont pas attirés par l'aimant.

Il est facile de distinguer une substance magnétique d'un aimant. La première n'a pas de pôles; présentée successivement aux deux extrémités d'une aiguille mobile *ab* (fig. 453), elle les attire toutes les deux, tandis qu'un aimant attirerait l'une et repousserait l'autre, si l'on avait soin de le présenter par le même pôle.

588. **Aimantation par influence.** — Lorsqu'une substance magnétique est mise en contact avec un barreau aimanté, les deux fluides de cette substance sont séparés, et elle devient, tant que le

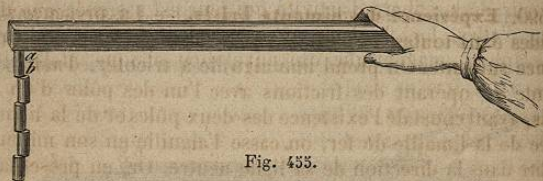


Fig. 455.

contact persiste, un aimant complet, ayant ses deux pôles et sa ligne neutre. Par exemple, si l'on fait porter par l'un des pôles d'un aimant (fig. 455) un petit cylindre *ab* de fer doux, ce cylindre peut, à son tour, porter un second cylindre semblable, puis celui-ci un troisième, et ainsi de suite, jusqu'à sept ou huit, suivant la force du barreau. Chacun de ces petits cylindres est donc un aimant, mais seulement tant que continue l'influence du barreau aimanté. Car si l'on interrompt le contact de celui-ci avec le premier cylindre, immédiatement les autres cylindres se détachent et ne conservent aucune trace de magnétisme. La séparation des deux fluides n'a donc été que momentanée, ce qui montre que l'aimant n'a rien cédé au fer. Le nickel s'aimante aussi très-bien sous l'influence d'un fort aimant.

L'aimantation par influence explique la formation des houppes de limaille qui s'attachent aux pôles des aimants (fig. 452). Les parcelles en contact avec l'aimant agissent par influence sur les parcelles voisines, celles-ci sur les suivantes, et ainsi de suite; ce qui donne naissance à la disposition filamenteuse de la limaille.

589. **Force coercitive.** — On nomme *force coercitive*, la force plus ou moins intense qui, dans une substance magnétique, s'oppose à la séparation des deux fluides, ou à leur recomposition quand ils ont été séparés. D'après l'expérience ci-dessus, cette force est inappréciable dans le fer doux, puisque ce métal s'aimante instantanément par l'influence d'un aimant. Dans l'acier trempé, au contraire, cette force est grande, et l'est d'autant plus, que la trempe

est plus forte. En effet, mis en contact avec un aimant, un barreau d'acier ne s'aimante que lentement; il est même nécessaire de le frictionner avec l'un des pôles de l'aimant, si l'on veut lui faire acquérir toute sa force. La séparation des deux fluides offre donc ici une résistance qui ne se rencontre pas dans le fer doux. Il en est de même de leur recomposition, car un barreau d'acier, une fois aimanté, ne perd que difficilement ses propriétés magnétiques. On verra bientôt que par l'oxydation, la pression ou la torsion, le fer doux peut aussi acquérir une certaine force coercitive, mais peu durable.

590. **Expérience des aimants brisés.** — La présence de deux fluides dans toutes les parties d'un aimant se démontre par l'expérience suivante. On prend une aiguille à tricoter, d'acier; on l'aimante en opérant des frictions avec l'un des pôles d'un aimant, puis, ayant constaté l'existence des deux pôles et de la ligne neutre avec de la limaille de fer, on casse l'aiguille en son milieu, c'est-à-dire dans la direction de sa ligne neutre. Or, en présentant successivement les deux moitiés aux pôles d'une aiguille mobile (fig. 453), on remarque qu'au lieu de ne contenir qu'un fluide, elles ont chacune deux pôles contraires et une ligne neutre. Si l'on brise de même ces nouveaux aimants en deux parties, on trouve encore que chacune d'elles est un aimant complet ayant ses deux pôles et sa ligne neutre; et ainsi de suite aussi loin qu'on peut continuer la division. On en conclut, par analogie, que les plus petites parties d'un aimant contiennent les deux fluides.

591. **Action des aimants sur tous les corps; corps diamagnétiques.** — Coulomb, le premier, observa, en 1802, que les aimants agissent sur tous les corps à des degrés plus ou moins marqués; phénomène qu'il constata en faisant osciller de petits barreaux de différentes substances entre les pôles opposés de deux forts barreaux aimantés, puis loin de l'influence de tout aimant, et en comparant le nombre d'oscillations exécutées, dans les deux cas, en des temps égaux. On attribua d'abord ces phénomènes à la présence de matières ferrugineuses dans les corps soumis à l'expérience; mais M. Lebaillif, et plus tard MM. Becquerel, ont démontré que les aimants exercent réellement une action sur tous les corps, même sur les gaz. On a constaté de plus que cette action est tantôt attractive et tantôt répulsive: les corps attirés ont reçu le nom de *corps magnétiques*, et ceux qui sont repoussés ont été nommés *corps diamagnétiques*. Parmi ces derniers sont le bismuth, le plomb, le soufre, la cire, l'eau, etc. Le cuivre est tantôt magnétique, tantôt diamagnétique, ce qui tient probablement à son degré de pureté.

M. Faraday, en 1847, avait reconnu que les aimants puissants

exercent sur les flammes une action répulsive qu'il a attribuée à une différence de diamagnétisme entre les gaz. Depuis, M. Ed. Becquerel, qui a fait d'importants travaux sur cette matière, a reconnu que, de tous les gaz, c'est l'oxygène qui a la plus grande puissance magnétique, et qu'un mètre cube de ce gaz condensé agirait sur une aiguille aimantée comme 5<sup>es</sup>,5 de fer.

Quelques physiciens ont regardé le diamagnétisme comme une propriété distincte du magnétisme. M. Ed. Becquerel lie entre eux les phénomènes de magnétisme et de diamagnétisme par une hypothèse ingénieuse: il admet qu'il n'y a pas deux genres d'actions entre les corps et les aimants, mais seulement une aimantation par influence, et que la répulsion exercée sur certaines substances est due à ce que celles-ci sont entourées par un milieu plus magnétique qu'elles.

En parlant, dans la théorie de l'électricité, des phénomènes d'induction, nous ferons connaître une action réciproque qui s'exerce entre les aimants et les métaux en mouvement.

## CHAPITRE II.

### MAGNÉTISME TERRESTRE, BOUSSOLES.

592. **Action directrice de la terre sur les aimants.** — Lorsqu'on suspend une aiguille aimantée à un fil, comme le représente la

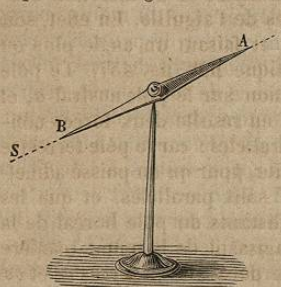


Fig. 456.

figure 453, ou lorsqu'on la pose sur un pivot autour duquel elle peut facilement tourner (fig. 456), on observe que l'aiguille, au lieu de s'arrêter dans une position quelconque, finit toujours par se fixer dans une direction qui est, plus ou moins, celle du nord au sud. La même chose a lieu si, dans un vase plein d'eau, on pose un petit disque de liège, et sur celui-ci un petit barreau aimanté; le liège oscille d'abord, et lorsqu'il s'arrête, la ligne droite qui joint les deux pôles de l'aimant est encore sensiblement dans la direction du nord au sud. Mais il est à observer que, dans cette expérience, le liège et le barreau n'avancent

ni vers le nord ni vers le sud. L'action des pôles terrestres sur les aimants n'est donc pas attractive, mais *seulement directrice*.

Des observations analogues ayant été faites sur tous les points du globe, on a assimilé la terre à un immense aimant dont les pôles seraient voisins des pôles terrestres, et dont la ligne neutre coïnciderait sensiblement avec l'équateur. C'est d'après cette hypothèse qu'on a nommé fluide boréal celui qui prédomine au pôle boréal du globe, et fluide austral celui qui prédomine au pôle opposé. Dans cette supposition, la terre agissant sur les aiguilles comme le ferait un aimant, les pôles de même nom se repoussent, et ceux de noms contraires s'attirent (585). Par conséquent, quand une aiguille aimantée se fixe dans la direction du nord au sud, le pôle qui regarde le nord contient le fluide austral, et celui qui regarde le sud contient le fluide boréal. C'est pourquoi le pôle qui regarde le nord se nomme *pôle austral*, et celui qui regarde le sud, *pôle boréal*.

593. **Couple magnétique terrestre.** — D'après ce qui précède, il est facile de voir que l'action magnétique de la terre sur une

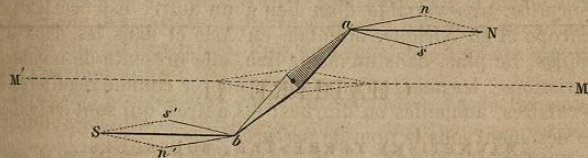


Fig. 457.

aiguille aimantée peut être comparée à un couple, c'est-à-dire à un système de deux forces égales, parallèles et de direction contraire, appliquées aux deux extrémités de l'aiguille. En effet, soit une aiguille  $ab$  mobile sur un pivot, et faisant un angle plus ou moins grand avec le méridien magnétique  $MM'$  (fig. 457). Le pôle boréal de la terre agissant par attraction sur le pôle austral  $a$ , et par répulsion sur le pôle boréal  $b$ , il en résulte deux forces contraires  $an$  et  $bn'$ , qui sont égales et parallèles; car le pôle terrestre est assez éloigné, et l'aiguille assez petite, pour qu'on puisse admettre que les deux directions  $an$  et  $bn'$  sont parallèles, et que les deux pôles  $a$  et  $b$  sont également distants du pôle boréal de la terre. Or, le pôle austral de celle-ci agissant de la même manière sur les pôles de l'aiguille, il en résulte deux autres forces  $as$  et  $bs'$  encore égales et parallèles. Mais les deux forces  $an$  et  $as$  se réduisant à une résultante unique  $aN$ , et les forces  $bn'$  et  $bs'$  à une résultante  $bS$ , ce sont ces deux forces  $aN$  et  $bS$  égales, parallèles et contraires, qui constituent le couple magnétique terrestre; et c'est ce couple qui fait tourner l'aiguille jusqu'à ce qu'elle s'arrête dans

le méridien magnétique, position où les deux forces N et S se font équilibre.

594. **Méridien magnétique, déclinaison.** — On sait que le *méridien astronomique* d'un lieu est le plan qui passe par ce lieu et par les deux pôles terrestres, et que la *méridienne* est la trace de ce plan sur la surface du globe. De même, on appelle *méridien magnétique* d'un lieu, le plan vertical qui passe en ce lieu par les deux pôles d'une aiguille aimantée mobile, en équilibre sur un axe vertical.

Cela posé, le méridien magnétique ne coïncidant pas, en général, avec le méridien astronomique, on nomme *déclinaison de l'aiguille aimantée* en un lieu, l'angle que fait, en ce lieu, le méridien magnétique avec le méridien astronomique, ou, ce qui revient au même, l'angle que fait la direction de l'aiguille avec la méridienne. La déclinaison est dite *orientale* ou *occidentale*, selon que le pôle austral de l'aiguille est à l'est ou à l'ouest du méridien astronomique.

595. **Variations de la déclinaison.** — La déclinaison de l'aiguille aimantée, très-variée d'un lieu à un autre, est occidentale en Europe et en Afrique, orientale en Asie et dans les deux Amériques. De plus, dans un même lieu, elle présente de nombreuses variations : les unes, qu'on peut considérer comme régulières, sont séculaires, annuelles ou diurnes ; les autres, qui sont irrégulières, se désignent sous le nom de *perturbations*.

*Variations séculaires.* — Pour un même lieu, la déclinaison varie avec le temps, et l'aiguille paraît faire, à l'est et à l'ouest du méridien astronomique, des oscillations dont la durée est de plusieurs siècles. On connaît la déclinaison, à Paris, depuis 1580. Le tableau suivant représente les variations qu'elle a subies :

Années.	Déclinaison.	Années.	Déclinaison.
1580. . . . .	11° 30' à l'est.	1825. . . . .	22° 22' à l'ouest.
1863. . . . .	0	1835. . . . .	22 4 —
1700. . . . .	8 10 à l'ouest.	1850. . . . .	20 31 —
1780. . . . .	19 25 —	1855. . . . .	19 57 —
1785. . . . .	22 00 —	1860 (11 novembre).	19 32 —
1814. . . . .	22 34 —	1861 (26 octobre)..	19 26 —

Ce tableau montre que, depuis 1580, la déclinaison a varié, à Paris, de plus de 34 degrés, et que le maximum de déviation occidentale a eu lieu en 1814; depuis lors l'aiguille revient vers l'orient.

*Variations annuelles.* — Les variations annuelles ont été signalées par Cassini, qui a observé, en 1784, que de l'équinoxe du printemps au solstice d'été, l'aiguille, à Paris, rétrogradait vers l'est, et qu'au contraire elle avançait vers l'ouest dans les neuf

mois suivants. Le maximum d'amplitude observé pendant la même année a été de 20 minutes. Du reste, les variations annuelles sont fort peu connues et ne paraissent pas constantes.

*Variations diurnes.* — Outre les variations séculaires et annuelles, la déclinaison éprouve des variations diurnes qui sont très-faibles et qu'on ne peut observer que sur de longues aiguilles et à l'aide d'instruments très-sensibles. Dans nos climats, l'extrémité nord de l'aiguille marche tous les jours de l'est à l'ouest, depuis le lever du soleil jusque vers une heure après midi. Elle retourne ensuite vers l'est par un mouvement rétrograde, de manière à reprendre, à très-peu près, vers dix heures du soir, la position qu'elle occupait le matin. La nuit, l'aiguille ne présente que peu de variations, mais subit cependant, de nouveau, un très-faible déplacement vers l'ouest.

À Paris, l'amplitude moyenne de la variation diurne est, pour avril, mai, juin, juillet, août et septembre, de 13 à 15 minutes, et, pour les autres mois, de 8 à 10 minutes. Il y a des jours où elle s'élève à 25 minutes, et d'autres où elle ne dépasse pas 5 minutes. Le maximum de déviation n'a pas lieu partout à la même heure. L'amplitude des variations diurnes décroît des pôles vers l'équateur, où elle est très-faible. Près de l'équateur, il existe une ligne sans variation diurne.

*Variations accidentelles ou perturbations.* — La déclinaison de l'aiguille aimantée est troublée accidentellement dans ses variations diurnes par plusieurs causes, telles que les aurores boréales, les éruptions volcaniques, la chute de la foudre. L'effet des aurores boréales se fait sentir à de grandes distances. Des aurores qui ne sont visibles que dans le nord de l'Europe agissent encore sur l'aiguille, à Paris, où l'on a observé des variations accidentelles de 20 minutes. Dans les régions polaires, l'aiguille oscille quelquefois de plusieurs degrés. Sa marche irrégulière, pendant toute la journée qui précède l'aurore boréale, sert de présage au phénomène.

596. **Boussole de déclinaison.** — La *boussole de déclinaison* est un instrument qui sert à mesurer la déclinaison magnétique en un lieu, quand on connaît le méridien astronomique de ce lieu. Elle se compose d'une boîte de cuivre rouge AB (fig. 458), dont le fond est muni d'un cercle gradué M. Au centre est un pivot sur lequel repose une aiguille aimantée *ab*, en forme de losange allongé, et très-légère. À la boîte sont appliqués deux montants qui supportent un axe horizontal X, sur lequel est fixée une lunette astronomique L, mobile dans un plan vertical. La boîte AB est soutenue par un pied P sur lequel elle tourne librement dans le sens horizontal, entraînant la lunette dans son mouvement. Un cercle fixe QR, qu'on nomme *cercle azimutal*, sert à mesurer le nombre de degrés dont

la lunette a tourné, au moyen d'un vernier V fixé à la boîte. Enfin, l'inclinaison de la lunette, par rapport à l'horizon, se mesure par un vernier K, qui reçoit son mouvement de l'axe de la lunette, et se déplace sur un arc de cercle fixe  $x$ .

Le méridien astronomique d'un lieu étant connu, pour déterminer la déclinaison en ce lieu, on commence par disposer la bous-

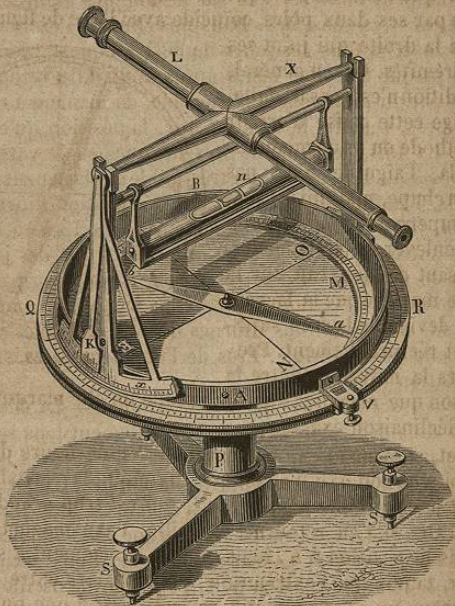


Fig. 438.

sole bien horizontalement, au moyen des vis calantes S, S, et du niveau  $n$ , puis on fait tourner la boîte AB jusqu'à ce que la lunette se trouve dans le plan du méridien astronomique. Lisant alors, sur le limbe gradué M, l'angle que fait l'aiguille aimantée avec le diamètre N, qui correspond au zéro de la graduation et se trouve exactement dans le plan de la lunette, on a la déclinaison; laquelle est occidentale ou orientale, selon que le pôle  $a$  de l'aiguille s'arrête à l'occident ou à l'orient du diamètre N.

Dans le cas où le méridien astronomique du lieu n'est pas connu, on peut le déterminer à l'aide de la boussole même. Pour cela, on fait usage du cercle azimutal QR et de l'arc de cercle  $x$ , et obser-

vant avec la lunette un astre connu, avant et après son passage au méridien, on emploie la *méthode des hauteurs égales*, décrite dans les traités de cosmographie pour déterminer la méridienne.

597. *Méthode du retournement.* — Les applications que nous venons d'indiquer, de la boussole de déclinaison, ne sont exactes qu'autant que l'axe magnétique de l'aiguille, c'est-à-dire la droite qui passe par ses deux pôles, coïncide avec l'axe de figure, c'est-à-dire avec la droite qui joint ses deux extrémités. Or, en général, cette condition n'est pas satisfaite. On corrige cette cause d'erreur parla méthode du retournement. Pour cela, l'aiguille n'est pas fixée à la chape, mais lui est seulement superposée, afin qu'on puisse l'enlever et la retourner, en la posant de nouveau sur la chape, de manière que la face inférieure devienne la face supérieure, et réciproquement. Prenant alors la moyenne entre la déclinaison que marque l'aiguille et celle qu'elle marquait d'abord, on a la déclinaison exacte.

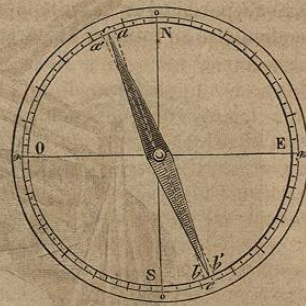


Fig. 459.

En effet, si la droite  $ce$  représente l'axe de figure de l'aiguille, et la droite  $ab$  son axe magnétique (fig. 459), la véritable déclinaison n'est pas marquée par l'arc  $cN$ , qui est trop grand, mais par l'arc  $aN$ . Or, si l'on retourne l'aiguille, l'axe magnétique  $ab$  ne prend pas la position  $a'b'$ , mais revient exactement à sa première direction, tandis que l'extrémité  $c$ , passant alors entre les points  $a$  et  $N$ , marque un arc trop petit, précisément d'une quantité égale à celle dont le premier arc était trop grand. Par conséquent, la moyenne entre les deux arcs observés donne la déclinaison vraie.

\* 598. *Boussole marine.* — L'action directrice de la terre sur l'aiguille aimantée a reçu une importante application dans la *boussole marine*, connue aussi sous les noms de *compas de variation* et de *compas de mer*. C'est une boussole de déclinaison destinée à diriger la marche des navires sur mer. La figure 460 la représente renfermée dans une boîte rectangulaire qui se place elle-même dans une boîte plus grande qu'on nomme *habitable*, et qui est fixée sur le pont, à l'arrière du vaisseau. La figure 461 en donne une coupe transversale. Dans ces deux figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes pièces.

L'aiguille *ab* (fig. 461), très-mobile sur un pivot, est fixée à la face inférieure d'une feuille de talc *t*, sur laquelle est tracée une étoile ou *rose* à 32 branches, marquant les huit rumb de vent, les demi-rumb et les quarts. Afin que la boussole puisse toujours conserver sa position horizontale, malgré le roulis et le tangage du navire, elle est à *suspension de Cardan*, c'est-à-dire qu'elle est soutenue par deux anneaux concentriques, mobiles, l'un autour de l'axe *cd* portant sur la boîte même, l'autre autour de l'axe *xz* perpendiculaire au premier et portant sur l'anneau fixé à l'axe *cd*.

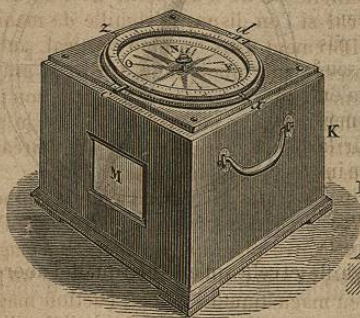


Fig. 460.

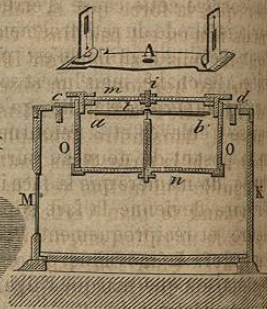


Fig. 461.

Une ouverture *M*, fermée par une glace de verre dépoli, sert à éclairer la boussole pendant la nuit. Pour cela, une lampe placée hors de la boîte, en regard de la glace, projette sa lumière dans l'intérieur. Le fond *n* de la caisse cylindrique *O*, dans laquelle est l'aiguille, est une glace de verre poli, laquelle donne passage à la lumière pour éclairer la feuille de talc *t*, qui porte la rose et qui est transparente. Une seconde glace de verre *m* recouvre la boussole, et un pivot *i*, fixé au centre de cette glace, sert à placer une alidade *A*, qui n'a d'usage que lorsqu'on veut relever les côtes.

Pour diriger un navire avec la boussole, on reconnaît d'abord, sur une carte marine, suivant quel rumb de vent le vaisseau doit se diriger pour se rendre à sa destination. Alors, l'œil fixé sur la boussole, le timonier tourne la barre du gouvernail jusqu'à ce que le rumb déterminé, marqué sur la rose, vienne coïncider avec une *ligne de foi* passant par deux points *c* et *d*, marqués sur les bords de la boîte (fig. 460), et dirigée dans le sens de la quille du vaisseau. Toutefois les variations qu'éprouvent la déclinaison sur les différents points du globe obligent les navigateurs à corriger continuellement les observations qu'ils font avec la boussole.

On ne connaît point l'inventeur de la boussole, ni l'époque précise de son invention. Guyot de Provins, poète français du XII<sup>e</sup> siècle, parle, le premier, de l'usage de l'aimant pour la navigation. Les anciens navigateurs, qui ne connaissaient pas la boussole, n'avaient pour guide que le soleil ou l'étoile polaire : aussi étaient-ils obligés de naviguer constamment en vue des côtes, au risque de faire fausse route quand le ciel était couvert.

509. **Inclinaison, équateur magnétique.** — D'après la direction vers le nord qu'affecte la boussole de déclinaison, on pourrait penser que la force qui la sollicite vient d'un point de l'horizon ; mais il n'en est pas ainsi, car si l'on dispose l'aiguille de manière qu'elle puisse se mouvoir librement dans un plan vertical, autour d'un axe horizontal, on observe que, quoique le centre de gravité de l'aiguille coïncide exactement avec l'axe de suspension, son pôle austral, dans notre hémisphère, incline constamment vers le pôle boréal de la terre. Dans l'autre hémisphère, c'est le pôle boréal de l'aiguille qui incline vers le pôle austral du globe.

Quand le plan vertical dans lequel se meut l'aiguille coïncide avec le méridien magnétique, on nomme *inclinaison* l'angle qu'elle fait avec l'horizon. Dans un autre plan que le méridien magnétique, l'inclinaison augmente, et elle est de 90 degrés dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique. En effet, l'action magnétique de la terre se décomposant alors en deux forces, l'une verticale, l'autre horizontale, la première fait prendre à l'aiguille sa position verticale, tandis que la seconde, agissant dans la direction de l'axe de suspension, ne peut faire tourner l'aiguille.

L'inclinaison, de même que la déclinaison, varie d'un lieu à un autre, mais suivant une loi mieux déterminée. On observe, en effet, vers le pôle boréal de la terre, des points où l'inclinaison est de 90 degrés ; puis, à partir de là, elle décroît avec la latitude jusqu'à l'équateur, où elle est nulle, tantôt sur ce cercle même, tantôt en des points qui en sont peu distants. Dans l'hémisphère austral l'inclinaison reparaît, mais en sens contraire ; c'est-à-dire que c'est le pôle boréal de l'aiguille qui s'abaisse au-dessous de l'horizon.

On a nommé *équateur magnétique*, la courbe qui passe par tous les points où l'inclinaison est nulle, et *pôles magnétiques*, les points où l'inclinaison est de 90 degrés. D'après les observations de Duperry, l'équateur magnétique coupe l'équateur terrestre en deux points presque diamétralement opposés, l'un dans le grand Océan, l'autre dans l'océan Atlantique. Ces points paraissent animés d'un mouvement de translation d'orient en occident. Quant aux pôles magnétiques, il en existe deux, l'un dans l'hémisphère boréal, près de l'île Melville, par 74° 27' de latitude N. ; l'autre dans l'hémi-

sphère austral, sur la terre Victoria, à l'ouest du volcan Erebus, par environ  $77^\circ$  de latitude S.

L'inclinaison varie aussi dans un même lieu, d'une époque à une autre. En 1671, elle était, à Paris, de 75 degrés. Depuis elle a toujours été en décroissant, et, le 28 octobre 1861, elle était de  $66^\circ 7'$ . D'après les observations faites à l'Observatoire, la diminution annuelle de l'inclinaison est sensiblement de 3 minutes.

On verra, dans l'ÉLECTRICITÉ, la cause probable du magnétisme terrestre (728).

600. **Boussole d'inclinaison.** — On nomme *boussole d'inclinaison*,

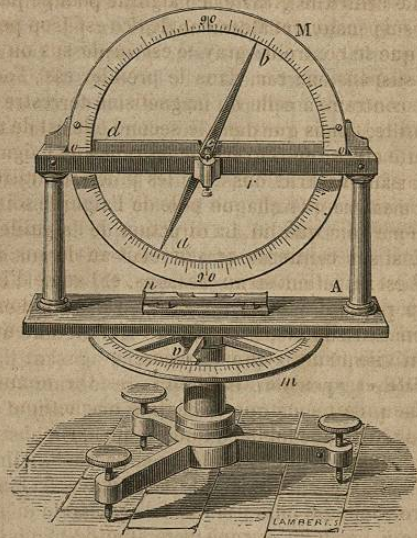


Fig. 462.

un instrument qui sert à mesurer l'inclinaison magnétique. Cette boussole, toute de cuivre, se compose d'abord d'un cercle horizontal *m*, gradué et porté sur trois vis calantes (fig. 462). Au-dessus de ce cercle est un plateau *A*, mobile autour d'un axe vertical, et portant, à l'aide de deux colonnes, un second cercle gradué *M*, qui mesure l'inclinaison; un châssis *r* soutient l'aiguille *ab*, et un niveau *n* sert, au moyen des trois vis calantes, à placer horizontalement le diamètre qui passe par les deux zéros du cercle *M*.

Pour observer l'inclinaison, on commence par déterminer le méridien magnétique, ce qui se fait en tournant le plateau *A* sur le

cercle *m* jusqu'à ce que l'aiguille devienne verticale, position qu'elle prend lorsqu'elle est dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique (599). Tournant ensuite le plateau *A* de  $90^\circ$  sur le cercle *m*, on amène le cercle vertical *M* dans le méridien magnétique. L'angle *dca* que fait alors l'aiguille aimantée avec le diamètre horizontal, est l'angle d'inclinaison.

Toutefois il y a ici deux causes d'erreur dont il importe de tenir compte. 1° L'axe magnétique de l'aiguille peut ne pas coïncider avec son axe de figure; de là une erreur qu'on corrige par la méthode du retournement, de même que pour la boussole de déclinaison (597). 2° Le centre de gravité de l'aiguille peut ne pas coïncider avec l'axe de suspension, et alors l'angle *dca* est trop petit ou trop grand, selon que le centre de gravité est au-dessus ou au-dessous du centre de suspension; car, dans le premier cas, l'action de la pesanteur est contraire à celle du magnétisme terrestre pour faire incliner l'aiguille, tandis que dans le second elle est de même sens. On corrige cette erreur en renversant les pôles de l'aiguille; ce qui s'obtient en faisant des frictions avec les pôles contraires de deux barreaux, de manière que chaque pôle de l'aiguille soit frotté par un pôle de même nom que lui. La direction de l'aiguille changeant alors de sens, si son centre de gravité était au-dessus du point de suspension, il est actuellement au-dessous, et l'angle d'inclinaison, qui était trop petit, devient trop grand. On aura donc sa vraie valeur en prenant la moyenne entre les résultats obtenus dans les opérations qui viennent d'être indiquées.

601. **Aiguille et système astatiques.** — On nomme *aiguille astatique*, celle qui est soustraite à l'action magnétique de la terre. Telle serait une aiguille mobile autour d'un axe situé dans le plan du méridien magnétique, parallèlement à l'inclinaison; car le couple magnétique terrestre, agissant alors suivant l'axe, ne peut imprimer à l'aiguille aucune direction déterminée.

Un *système astatique* est la réunion de deux aiguilles de même force, réunies parallèlement, les pôles contraires en regard, comme le montre la figure 463. Si les deux aiguilles sont rigoureusement de même force, les actions contraires du globe sur les pôles *a* et *b*, ainsi que sur les pôles *a'* et *b'*, se détruisent, et le système est complètement astatique. On verra, dans le galvanomètre, une application importante du système magnétique astatique.

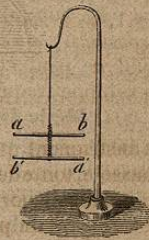


Fig. 463.