

## CHAPITRE VI.

### MAGNÉTISME TERRESTRE.

#### I. LOIS GÉNÉRALES.

187. La Terre n'est pas seulement un immense réservoir d'électricité; elle possède encore une autre propriété, qui a été nommée magnétisme terrestre, en vertu de laquelle les aimants prennent en tout lieu une direction déterminée. C'est aussi en vertu de ce magnétisme que les pièces de fer qui sont restées longtemps dans une même situation, les barreaux des grilles, les croix des églises, finissent par s'aimanter.

La pierre d'aimant, qui est un oxyde de fer, se rencontre dans quelques mines. La propriété qu'elle possède, lorsqu'elle est librement suspendue, de se diriger vers les pôles de la Terre, a été connue en Chine dans une haute antiquité. Au douzième siècle avant notre ère, des ambassadeurs du Tonkin et de la Cochinchine étant venus à la cour de l'empereur Tchhingwang, celui-ci leur fit présent de cinq appareils magnétiques qui devaient les guider dans leur marche à travers les contrées désertes. Dès le troisième siècle de l'ère vulgaire, les

vaisseaux chinois faisaient usage d'une espèce de boussole. La pierre aimantée flottait, au moyen d'un morceau de bois léger, sur une cuvette remplie d'eau, et elle était surmontée d'une petite figure dont le bras était tendu vers le sud. C'est par les Arabes que l'usage de la boussole s'est introduit en Europe; au treizième siècle, les Catalans et les Basques s'en servaient communément. Les navigateurs italiens leur en empruntèrent l'usage. Leur boussole était aussi soutenue sur l'eau par un flotteur, et les deux pointes de l'aimant indiquaient le nord et le sud.

Aujourd'hui l'on est parvenu à communiquer au fer les propriétés de l'aimant, en le frottant avec un aimant naturel ou avec un barreau de fer déjà aimanté. Cette découverte précieuse a considérablement étendu l'usage des aiguilles aimantées et l'étude des phénomènes qu'elles nous révèlent. Le perfectionnement des arts

mécaniques a contribué, de son côté, à donner à ces instruments plus de sensibilité et d'exactitude. Les aiguilles aimantées de nos cabinets ont la forme de petits barreaux réguliers. Elles sont suspendues à un fil de soie détordue qui leur permet de prendre librement toutes les directions. Tout barreau, tel que ABCD, suspendu par le point O, renferme une ligne idéale intérieure *pq*, qui porte le nom d'axe magnétique, et dont la direction est soumise à la force magnétique

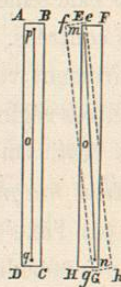


Figure 27.

de la Terre. Avant de faire usage d'un barreau aimanté, il importe d'examiner si l'axe magnétique est parallèle aux arêtes longitudinales AD et BC du barreau. Supposons un barreau EFGH, dans lequel l'axe *mn* est oblique sur les arêtes. Retournons ce barreau sens dessus dessous et suspendons-le de nouveau par le même point O; l'axe magnétique *mn* conservera la même situation dans l'espace, parce que cet axe obéit à la force directrice de la Terre; mais le corps du barreau prendra la nouvelle situation *feh*g, dans laquelle les petites lettres désignent les situations occupées après le retournement par les angles auxquels étaient affectées les grandes lettres correspondantes.

C'est toujours de la direction de l'axe magnétique que nous entendrons parler à l'avenir. Nous supposons que les barreaux dont on fait usage ont été soigneusement vérifiés par le retournement.

188. L'aiguille aimantée ne se dirige pas exactement du nord au sud. Dans nos contrées, sa pointe nord dévie ordinairement vers l'ouest, tandis que dans d'autres régions du globe elle dévie vers l'est. On a donné le nom de *méridien magnétique* au plan qui passe par l'axe du barreau, par analogie avec le méridien astronomique qui va du vrai sud au vrai nord. En Belgique, une aiguille aimantée AB, suspendue librement par son centre O, fait un angle de près de 17° avec la ligne



Figure 28.

SN du sud au nord. Cet angle AON se nomme la *déclinaison magnétique*. On dit que cette déclinaison est occidentale ou orientale, suivant que la pointe nord du barreau, en d'autres termes le nord magnétique, tombe à l'ouest ou à l'est du vrai nord.

Il importe donc de savoir, lorsqu'on se sert de la boussole, de quel côté elle décline, et quelle est la grandeur de sa déclinaison. Si cette déclinaison était la même dans toutes les contrées de la terre, il suffirait d'appliquer une correction constante à la direction de l'aiguille pour déterminer le nord vrai. Mais il est loin d'en être ainsi. Si l'on part de Bruxelles, par exemple, où la déclinaison est de 17° vers l'ouest, et qu'on se rende aux États-Unis d'Amérique, on voit cette déclinaison diminuer progressivement, jusqu'à ce qu'elle devienne nulle dans les régions de l'Ohio et du Missouri. Si l'on continue à s'avancer dans l'intérieur du continent américain, la pointe nord de la boussole commence à passer à l'est du méridien astronomique, et la déclinaison devient orientale. Il est donc nécessaire de connaître en particulier, pour chaque lieu du globe, dans quel sens et de quelle grandeur est la déclinaison magnétique.

Cette difficulté s'opposait autrefois à l'usage de la boussole. La déclinaison magnétique, reconnue très anciennement par les Chinois, découverte en Europe par *Peregrini* et observée par *Christophe Colomb* dans sa première traversée de l'Atlantique, jetait une grande incertitude sur les opérations des navigateurs. Au dix-septième siècle, l'Angleterre fit entreprendre de

longs voyages pour étudier la déclinaison magnétique dans les parages des différentes mers. En réunissant les résultats obtenus dans ces voyages, en figurant par de petites flèches, sur une mappemonde, la direction qu'affectait l'aiguille dans les différents lieux d'observation, on a reconnu que toutes ces flèches convergent à peu près vers deux points qui ne sont pas les pôles de la terre. On a nommé ces deux points les *pôles magnétiques*. Depuis les premiers calculs de *Halley* pour déterminer leur situation, *John Ross* est parvenu au pôle magnétique du nord, dans les terres polaires de l'Amérique septentrionale, et *James Ross* et *Crozier* se sont trouvés à quelques lieues de l'autre pôle magnétique, dans les mers glaciales du Sud.

189. La connaissance des pôles magnétiques donne la clef des phénomènes généraux que nous présente l'aiguille aimantée. Il suffit de savoir où ces pôles sont situés pour calculer à l'avance quelle sera la déclinaison de l'aiguille dans un lieu donné du globe. De légères influences locales, que l'on reconnaît dans un grand nombre de contrées, n'altèrent jamais le résultat d'une manière importante.

On peut donc se représenter toutes les aiguilles aimantées qui existent sur le globe comme dirigées vers un pôle particulier, un peu distant du pôle de la terre. Mais l'expérience a constaté que le pôle magnétique lui-même n'est pas fixe sur la surface du globe : il se déplace par la suite des temps. Avant le dix-septième siècle, la déclinaison de l'aiguille, qui est aujourd'hui

occidentale dans nos contrées, était au contraire vers l'orient. En 1663 la boussole indiquait le vrai nord à Paris. Après cette époque, elle déclina de plus en plus à l'ouest et atteignit vers 1814 à 1815 sa plus grande excursion occidentale. Depuis, l'aiguille revient vers le nord vrai.

190. On a constaté des changements semblables dans tous les lieux dont on possède des observations anciennes. Partout la pointe nord de la boussole se porte, par la suite des années, de l'est à l'ouest, pour revenir ensuite vers l'est. Or, on peut se représenter ces effets en attribuant au pôle magnétique un mouvement de rotation autour du pôle de la terre. A mesure que le pôle magnétique se déplace, il entraîne toutes les aiguilles qui se dirigent à lui, et, suivant qu'il passe d'un côté à l'autre du pôle de la terre, la déclinaison, dans un même lieu, devient occidentale ou orientale.

Toutefois, les observations précises de l'aiguille aimantée ne remontent pas assez haut pour assigner exactement en combien d'années le pôle magnétique fait le tour du pôle terrestre. On ne peut pas préciser non plus si ce mouvement de rotation est uniforme, si la distance du pôle magnétique au pôle terrestre demeure constante. Ce qui est incontestable, c'est que le pôle magnétique du nord, qui était situé durant le siècle dernier dans les parages de la baie de Baffin, se transporte maintenant vers le détroit de Behring, en longeant les côtes septentrionales de l'Amérique.

191. Lorsqu'on observe heure par heure la direction

d'une aiguille aimantée, on reconnaît que dans nos contrées la pointe nord se porte d'abord vers l'ouest, pendant la matinée; qu'elle revient ensuite vers l'est à partir de 1 heure ou 2 heures de l'après-midi; qu'elle rétrograde de nouveau vers l'ouest pendant la plus grande partie de la nuit; enfin qu'elle revient à l'est depuis 2 ou 3 heures du matin jusqu'à 9 heures environ. Ces mouvements sont toujours renfermés, d'ailleurs, dans des limites très étroites; ils sont un peu plus forts en été qu'en hiver, mais ils se bornent toujours à de petites oscillations.

Dans les contrées australes, lorsqu'on est plus rapproché du pôle magnétique du sud, ces mouvements se font dans le sens inverse, tout en affectant les mêmes périodes.

Ainsi, deux fois chaque jour l'aiguille aimantée tourne d'orient en occident, et revient sur elle-même d'occident en orient. Si l'on considère que cette oscillation universelle est liée aux heures du jour, on voit que le mouvement doit se propager de l'est à l'ouest, sur la surface du globe, dans le sens de la marche apparente du soleil.

192. Depuis les belles recherches de *Ersted*, on sait que le magnétisme n'est qu'une dépendance de l'électricité. Toutes les fois qu'un courant électrique circule dans le voisinage d'une aiguille aimantée, cette aiguille est sollicitée à prendre une position perpendiculaire au courant; si le fil AB est suffisamment électrisé, le barreau aimanté MN, suspendu par le point O au-dessus de ce fil, prendra une direction MN perpendiculaire à

AB. Considérer la direction de l'aiguille, c'est, par conséquent, constater la direction du courant électrique qui assigne à cette aiguille sa position.

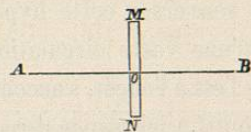


Figure 29.

193. Le soleil verse chaque jour, sur la surface du globe, un nouveau flux de chaleur.

L'échauffement du sol se propage d'orient en occident. L'échauffement plus ou moins rapide du terrain donne naissance, comme on l'observe dans les expériences de laboratoire, à des courants électriques journaliers. Le passage de ces courants dévie l'aiguille aimantée de sa position naturelle; ils tendent, suivant leur force, à lui imposer une direction perpendiculaire à celle de leur propre mouvement, puis, lorsqu'ils s'affaiblissent, ils le rendent à sa liberté.

Les oscillations diurnes des barreaux aimantés sont l'indice du passage de ces courants électriques, qui se développent dans les couches supérieures du sol, sous l'influence de la chaleur solaire. Mais des observations suivies en Angleterre sur les grandes lignes des télégraphes électriques, ont servi à constater directement l'existence de ces courants.

Puisque les oscillations journalières des aiguilles aimantées sont le produit d'une circulation électrique s'établissant à chaque retour du soleil dans les couches supérieures du terrain, on peut penser, par analogie, que la direction permanente de ces aiguilles vers les pôles magnétiques est simplement la conséquence d'un autre

courant constant. Il n'est plus permis de croire, comme au temps de *Fracastor*, que l'aiguille soit attirée par d'immenses montagnes de fer. Le déplacement du pôle magnétique suffirait seul pour renverser cette hypothèse. Mais on peut admettre qu'une vaste circulation électrique, dirigée à peu près de l'est à l'ouest, s'accomplit dans le sol sans interruption. La puissance directrice de la Terre ne serait alors qu'une conséquence de cette vaste rotation.

La constitution inégale des terrains, la conductibilité plus ou moins grande des diverses couches de la terre et de la mer, produirait alors les petites inégalités que l'on observe dans la direction de l'aiguille, qui n'est jamais en toute exactitude celle du pôle magnétique.

La terre nous apparaît ainsi comme un globe immense dont la croûte est sillonnée de courants électriques, ces courants formant une espèce de tourbillon dont les pôles magnétiques marquent l'axe. Toutes les aiguilles aimantées que l'on suspend librement à la surface de la terre obéissent à l'influence de cette circulation électrique, en prenant une direction déterminée. Mais il nous reste un autre phénomène à envisager.

194. Si l'on suspend à un fil PQ un barreau de fer, on peut faire prendre à ce barreau la position horizontale HH. Si l'on aimante ensuite le barreau, non seulement il se dirige vers le nord magnétique, mais sa pointe A plonge sous l'horizon, et son extrémité B se relève. La force directrice n'agit donc pas dans un plan horizontal :

elle attire l'une des extrémités de l'aiguille vers l'intérieur de la terre. Dans nos contrées, c'est la pointe

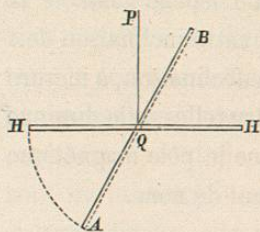


Figure 30.

nord qui s'abaisse vers l'horizon ; dans les contrées australes, c'est la pointe sud. L'angle HQA que fait l'aiguille avec l'horizon se nomme l'inclinaison magnétique. Aussi, lorsqu'on veut faire tenir l'aiguille horizontalement, comme dans

les boussoles d'arpentage, on est obligé d'appliquer sur l'extrémité B un petit contrepoids qui l'empêche de se redresser.

Que l'on se représente le globe de la terre avec ses pôles P et Q, que l'on place sur ce globe les pôles magnétiques M et N. Marquons par un dard de flèche la pointe nord de nos aiguilles aimantées.

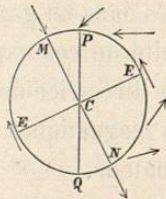


Figure 31.

Au pôle magnétique M, l'aiguille se tient verticale, la pointe nord en bas. Mais à mesure qu'on s'éloigne de ce pôle, la pointe nord se relève. Arrivé en E, à égale distance des deux pôles M et N, l'aiguille aimantée se tient hori-

zontale ; puis la pointe sud s'abaisse de plus en plus jusqu'à l'autre pôle magnétique N, où l'aiguille est de nouveau verticale, la pointe nord en haut.

La ligne EE, sous laquelle le barreau aimanté reste

horizontal, sous laquelle l'inclinaison magnétique est nulle, a été appelée l'équateur magnétique.

Puisque l'inclinaison de l'aiguille dépend aussi de la situation des pôles magnétiques, cette inclinaison doit varier dans chaque lieu, comme la déclinaison, à mesure que ces pôles se déplacent. A Bruxelles, elle diminue lentement, et confirme ce fait, que le pôle magnétique septentrional s'éloigne actuellement de nous.

195. La puissance directrice de la terre ramène l'aiguille à sa position primitive chaque fois qu'elle en a été écartée, comme la gravité ramène le pendule vers la verticale. Mais on comprend que l'aiguille reviendra à sa position normale avec d'autant plus de rapidité que la force directrice de la terre sera plus énergique. Le nombre de ses oscillations mesurera l'intensité du magnétisme terrestre. Des essais de cette nature avaient déjà été entrepris dans l'expédition malheureuse de *La Pérouse*. Depuis, ils ont été répétés dans un grand nombre de points du globe. Il est résulté de ces expériences comparatives que la puissance directrice de la terre est le plus intense vers ses pôles magnétiques, et le plus faible dans le voisinage de l'équateur.

## II. PERTURBATIONS.

196. Nous avons vu que les perturbations électriques, en d'autres termes les orages, ont leur siège dans les régions atmosphériques. Des perturbations analogues

se produisent dans les courants intérieurs desquels dépendent les phénomènes du magnétisme. Il arrive, de temps à autre, que les mouvements d'ordinaire bien réguliers de l'aiguille aimantée manifestent un trouble accidentel. La pointe du barreau se meut par secousses vers l'ouest ou vers l'est; elle s'écarte parfois considérablement de sa position moyenne; puis, au bout de plusieurs heures, après plusieurs oscillations en sens divers, elle revient lentement à sa situation normale.

197. On n'est point parvenu à découvrir jusqu'ici les causes premières des perturbations magnétiques. Seulement, par des observations simultanées de l'aiguille aimantée, dans un grand nombre de stations des deux hémisphères, on a reconnu que ces perturbations s'étendent parfois à des régions d'une immense étendue. Il y a des perturbations locales qui ne s'exercent que dans un rayon fort rétréci. Mais beaucoup de perturbations embrassent en même temps une vaste portion du continent. Dans tout le cercle de leur activité, l'aiguille aimantée s'agite dans le même sens, au même moment physique. Il arrive plusieurs fois chaque année que les barreaux magnétiques dont on suit la marche nuit et jour dans la plupart des observatoires de l'Europe sont troublés au même instant. La pointe nord des aiguilles se porte subitement à l'ouest, depuis les limites de la Sibérie jusqu'aux côtes mêmes de l'Atlantique. Mais les perturbations sont arrêtées en général par le bassin des mers; celles que l'on observe en Amérique et celles qui

se produisent sur notre continent sont très souvent indépendantes les unes des autres.

La plupart des courants qui donnent naissance à ces perturbations, se meuvent apparemment dans les couches tout à fait supérieures du terrain. On s'explique alors comment les mers arrêtent la propagation de ces courants, et comment les perturbations que l'on observe à la surface sont parfois tout à fait insensibles dans les mines profondes.

198. Les perturbations magnétiques qui surviennent la nuit sont quelquefois accompagnées d'une manifestation lumineuse, qui a son siège dans le voisinage du méridien magnétique. Cet effluve lumineux, fort peu remarqué des anciens, a reçu de Gassendi le nom d'*aurore boréale*.

L'aurore boréale se compose d'un arc de lumière AB, qui s'élève au-dessus de l'horizon du côté du nord, et

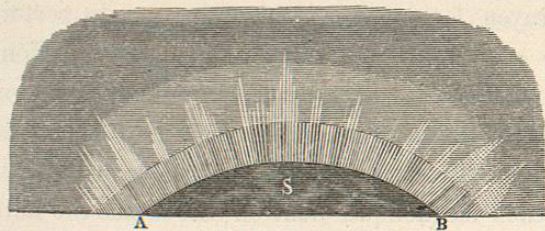


Figure 32.

dont le point culminant est situé à peu près dans le méridien magnétique. Cet arc repose sur un segment S d'une couleur foncée, offrant quelque ressemblance avec un nuage épais. Au-dessus de l'arc AB s'élançant des

rayons de lumière, qui s'élèvent vers le zénith. Peu à peu ces rayons s'allongent, ils s'étendent sur une grande partie du ciel, et se colorent de nuances variées. Ils convergent vers un point situé au delà du zénith, où leur réunion forme une coupole de lumière. Les raies brillantes partent de ce nœud de lumière, comme les plumes étincelantes d'un immense oiseau de paradis (*Necker de Saussure*). On observe que le point de réunion des rayons est précisément le point du ciel vers lequel se dirige la pointe relevée du barreau magnétique d'inclinaison.

Plus tard, ces rayons se dissolvent en se roulant sur eux-mêmes; le ciel n'offre plus que des plaques éparses et mouvantes de lumière. Ces plaques, dans leur mobilité, semblent entraîner l'aiguille aimantée dont on dirait qu'elles conduisent la pointe. Enfin, les lueurs s'affaiblissent et s'effacent peu à peu, et lorsque le jour paraît et met un terme aux dernières clartés de l'aurore boréale, le ciel semble traversé de bandes régulières et alignées de vapeurs blanchâtres.

Toutes les parties de l'aurore sont transparentes et laissent apercevoir les étoiles. Mais la scintillation de sa lumière a servi à la faire distinguer plusieurs fois pendant le jour malgré la présence du soleil.

199. L'explication complète de ce beau phénomène dépasse aujourd'hui les limites de nos connaissances. Suivant *Hansteen*, l'aurore boréale a son siège dans les hautes régions de l'atmosphère, au-dessus du pôle magnétique de la terre. Dans le voisinage de ce pôle, il

existerait sous certaines circonstances un effluve de particules électrisées, qui s'élèveraient du sein de la terre. Ces particules deviendraient lumineuses à une élévation suffisante dans l'atmosphère. Elles se disposeraient en outre en longs filets parallèles à l'aiguille d'inclinaison. D'après *De la Rive*, au contraire, la vapeur d'eau qui s'élève sous l'équateur vers les hautes régions de l'atmosphère et s'écoule de là vers les pôles, entraîne avec elle une certaine quantité d'électricité. En arrivant dans les régions polaires, où les courants se rapprochent du sol, cette vapeur se trouve en présence d'une électricité de nom contraire. La recombinaison s'opère alors, en donnant lieu, lorsque la charge est suffisante, aux phénomènes lumineux que nous avons décrits.

Mais quelle que soit l'hypothèse à laquelle on s'arrête, la relation qui existe entre les phénomènes électromagnétiques et l'aurore boréale n'en est pas moins établie. L'aurore forme au-dessus du pôle magnétique une sorte de couronne lumineuse, dont les contrées environnantes aperçoivent un arc partiel.

200. L'aurore boréale devient beaucoup plus fréquente à mesure qu'on avance vers le nord. Dans les régions polaires il ne se passe presque pas de nuit sans que la clarté de l'aurore vienne combattre l'obscurité. Mais dans nos régions, ce phénomène ne se présente qu'à d'assez rares intervalles. Seulement, après avoir observé de fortes perturbations magnétiques, nous apprenons d'ordinaire qu'à ce même instant l'aurore boréale

se montrait dans tout son éclat aux habitants du septentrion.

Entre les tropiques, les aurores boréales deviennent très rares. Des aurores analogues, qu'on a nommées *aurores australes*, se montrent pareillement à l'entour de l'autre pôle magnétique. Ces aurores affectent parfois l'aiguille aimantée jusque dans notre hémisphère. Les deux pôles magnétiques sont le centre de phénomènes lumineux, qui apparaissent quelquefois simultanément, et forment alors une double couronne aux pôles de la planète.