

modèle, qui est plus faible; seulement on doit aciduler fort peu l'eau dans laquelle plonge le zinc.

705. **Dorure galvanique.** — Avant de connaître la décomposition des sels par la pile, on dorait au moyen du mercure. Pour cela, on prenait un amalgame d'or qu'on appliquait sur les pièces à dorer. En portant ensuite les objets ainsi recouverts dans un four, pour en élever la température, le mercure se volatilisait, et l'or seul restait sous la forme d'une couche très-mince sur les objets dorés. Le même procédé était appliqué à l'argenterie; mais à ce procédé, qui est coûteux et insalubre, on substitue généralement aujourd'hui la dorure et l'argenterie galvaniques. La dorure par la pile ne diffère de la galvanoplastie qu'en ce que la couche métallique qu'on fait déposer sur les objets à dorer est beaucoup plus mince et plus adhérente. Brugnatelli, élève de Volta, paraît être le premier, en 1803, qui ait observé qu'on pouvait dorer avec une pile et une dissolution alcaline d'or; mais c'est M. de La Rive qui, le premier, appliqua réellement la pile à la dorure. Les procédés de dorure et d'argenterie furent ensuite perfectionnés par MM. Elkington, Ruolz et autres physiciens.

Les pièces à dorer doivent subir trois préparations, qui sont le *recuit*, le *dérochage* et le *décapage*.

Le *recuit* consiste à chauffer les pièces pour détruire les matières grasses dont elles ont pu être imprégnées dans les travaux auxquels elles ont été soumises antérieurement.

Les pièces à dorer étant ordinairement de cuivre, leur surface, pendant le *recuit*, s'est recouverte d'une couche de protoxyde et de bioxyde de cuivre que le *dérochage* a pour but d'enlever. Pour cela, on plonge les pièces encore chaudes dans un bain d'acide azotique très-étendu d'eau, où on les laisse assez longtemps pour que l'oxyde se détache. On les frotte alors avec une brosse dure, on les lave à l'eau distillée, et on les fait sécher dans de la sciure de bois légèrement chauffée.

Les pièces sont encore irisées; pour enlever toutes les taches, il reste le *décapage*, opération qui consiste à plonger rapidement les pièces dans un bain d'acide azotique ordinaire, puis dans un mélange du même acide, de sel marin et de suie, et enfin à les laver dans l'eau pure.

Les pièces une fois préparées, on les suspend à l'électrode négative d'une pile formée de trois ou quatre couples de Daniell ou de Bunsen, et on les plonge dans un bain d'or, en les disposant comme pour la galvanoplastie (fig. 556). Elles restent dans le bain plus ou moins longtemps, suivant l'épaisseur qu'on veut donner au dépôt.

On a beaucoup varié la composition des bains. Celui qui est le

plus en usage se compose de 1 gramme de chlorure d'or et de 10 grammes de cyanure de potassium dissous dans 200 grammes d'eau. Pour entretenir le bain à un degré de concentration constant, on suspend à l'électrode positive une lame d'or qui se dissout à mesure que le bain laisse déposer son or sur les pièces en communication avec le pôle négatif.

Le procédé qui vient d'être décrit s'applique très-bien pour dorer non-seulement le cuivre, mais l'argent, le bronze, le laiton, le maillechort. Quant aux autres métaux, comme le fer, l'acier, le zinc, l'étain, le plomb, ils se dorent mal. Pour obtenir une bonne dorure, on est obligé de les recouvrir d'abord d'une couche de cuivre, au moyen de la pile et d'un bain de sulfate de cuivre; c'est ensuite le cuivre qui les recouvre qu'on dore comme il a été dit ci-dessus.

706. **Argenture.** — Tout ce qu'on vient de dire sur la dorure galvanique s'applique exactement à l'argenture; il n'y a de différence que dans la composition du bain, qui est formé de 1 gramme de cyanure d'argent et de 10 grammes de cyanure de potassium dissous dans 250 grammes d'eau. A l'électrode positive est suspendue une plaque d'argent qui empêche le bain de s'appauvrir, et à l'électrode négative sont les pièces à argenter, bien décapées.

### CHAPITRE III.

#### ÉLECTRO-MAGNÉTISME, GALVANOMÉTRIE.

707. **Expérience d'Ørsted.** — Ørsted, professeur de physique à Copenhague, fit, en 1819, une découverte qui liait intimement désormais le magnétisme et l'électricité, et qui fut bientôt, entre les mains d'Ampère et de M. Faraday, la source d'une branche nouvelle de la physique. Le fait découvert par Ørsted est l'action directrice qu'un courant fixe exerce, à distance, sur une aiguille aimantée mobile. Bientôt après on a reconnu que, réciproquement, un aimant fixe a une action directrice sur un courant mobile, et l'on a donné le nom d'*électro-magnétisme* à la partie de la physique qui traite des actions mutuelles qui s'exercent entre les aimants et les courants. Pour faire l'expérience d'Ørsted, on tend horizontalement, dans la direction du méridien magnétique, un fil de cuivre, au-dessus d'une aiguille aimantée mobile, comme le représente la figure 557. Tant que le fil n'est point traversé par un courant, l'aiguille lui demeure parallèle; mais aussitôt que les extrémités

du fil sont mises en communication avec les électrodes d'une pile, l'aiguille est déviée, et approche d'autant plus de prendre une direction perpendiculaire au courant, que celui-ci est plus intense.

Quant au sens dans lequel les pôles sont déviés, il se présente plusieurs cas, qui vont se ramener tout à l'heure à un principe

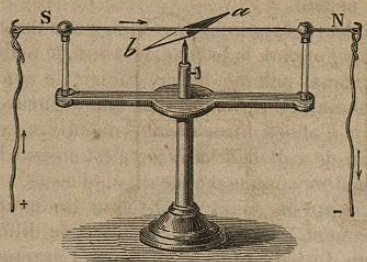


Fig. 557 (h=21).

unique. Si l'on se rappelle la convention déjà établie (668), que l'on conçoit toujours le courant allant, dans le fil conjonctif, du pôle positif au pôle négatif, l'expérience précédente présente les quatre cas suivants :

- 1° Si le courant passe au-dessus de l'aiguille et va du sud au nord, le pôle austral est dévié vers l'ouest : c'est cette disposition qui est représentée dans le dessin ci-dessus.
- 2° Si le courant passe au-dessous de l'aiguille, toujours du sud au nord, le pôle austral est dévié à l'est.
- 3° Lorsque le courant passe au-dessus de l'aiguille, dans la direction du nord au sud, le pôle austral se dirige vers l'est.
- 4° Enfin, la déviation a lieu vers l'ouest quand le courant va encore du nord au sud, au-dessous de l'aiguille.

Si l'on conçoit, comme l'a fait Ampère, un observateur placé dans le fil conjonctif, de manière que le courant entrant par les pieds sorte par la tête, et que la face soit constamment dirigée vers l'aiguille, on reconnaît facilement que, dans les quatre positions qu'on vient de considérer, le pôle austral est dévié vers la gauche de l'observateur. Le courant ainsi personnifié, on peut donc résumer les différents cas considérés ci-dessus dans l'énoncé de ce principe général : *Dans l'action directrice des courants sur les aimants, le pôle austral est constamment dévié vers la gauche du courant.*

708. **Galvanomètre ou multiplicateur.** — On nomme *galvanomètre*, *multiplicateur* ou *rhéomètre*, un appareil extrêmement sensible, qui sert à constater l'existence, le sens et l'intensité des courants. Cet appareil fut imaginé par Schweigger, en Allemagne, peu de temps après la découverte d'Ersted.

Pour en comprendre le principe, considérons une aiguille aimantée suspendue à un fil de soie sans torsion (fig. 558), et entourée, dans le plan du méridien magnétique, d'un fil de cuivre formant un circuit complet autour de l'aiguille, dans le sens de sa longueur. Lorsque ce fil est traversé par un courant, il résulte de la conven-

tion établie dans le paragraphe précédent que, dans toutes les parties du circuit, un observateur couché suivant le fil, dans le sens des flèches, et regardant l'aiguille *ab*, aurait la gauche tournée vers le même point de l'horizon, et, par conséquent, que partout l'action du courant tend à tourner l'aiguille dans le même sens.

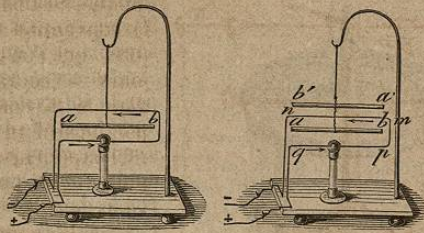


Fig. 558.

Fig. 559.

C'est-à-dire que les actions des quatre branches du circuit concourent pour donner au pôle austral la même direction. En enroulant le fil de cuivre dans le sens de l'aiguille, comme le représente la figure, on a donc *multiplié* l'action du courant. Si, au lieu d'un seul circuit, on en fait plusieurs, l'action se multiplie davantage et la déviation de l'aiguille augmente. Cependant on ne multiplierait pas indéfiniment l'action du courant en continuant les circonvolutions du fil, car on verra bientôt que l'intensité d'un courant s'affaiblit lorsque la longueur du circuit qu'il parcourt augmente.

Comme l'action directrice de la terre tend sans cesse à maintenir l'aiguille dans le méridien magnétique, et s'oppose ainsi à l'action du courant, Nobili a rendu l'effet de celui-ci beaucoup plus sensible, en faisant usage d'un système de deux aiguilles astatiques, comme le montre la figure 559. L'action de la terre sur les aiguilles est alors très-faible (601), et de plus les actions du courant sur les deux aiguilles s'ajoutent. En effet, l'action du circuit complet tend, d'après le sens du courant marqué par les flèches, à diriger vers l'ouest le pôle austral de l'aiguille inférieure *ab*. Quant à l'aiguille supérieure *a'b'*, elle est soumise à l'action de deux courants contraires *mn* et *qp*; mais le premier étant plus rapproché, c'est son action qui l'emporte. Or, ce courant, passant au-dessous de l'aiguille, du pôle austral au pôle boréal, tend évidemment à tourner le pôle *a'* vers l'est, et, par conséquent, le pôle *b'* vers l'ouest, c'est-à-dire dans le même sens que le pôle *a* de l'autre aiguille.

Ces principes posés, il est facile de se rendre compte de la théorie du *multiplicateur*. Cet appareil, représenté dans la figure 560, se compose d'un cadre D, de cuivre rouge, autour duquel s'enroule

un fil de même métal, recouvert de soie dans toute sa longueur, afin d'isoler les circuits les uns des autres. Au-dessus de ce cadre est un cadran horizontal gradué, dont le zéro correspond au diamètre parallèle à la direction du fil de cuivre sous le cadran; ce cadran porte deux graduations, l'une à droite, l'autre à gauche du

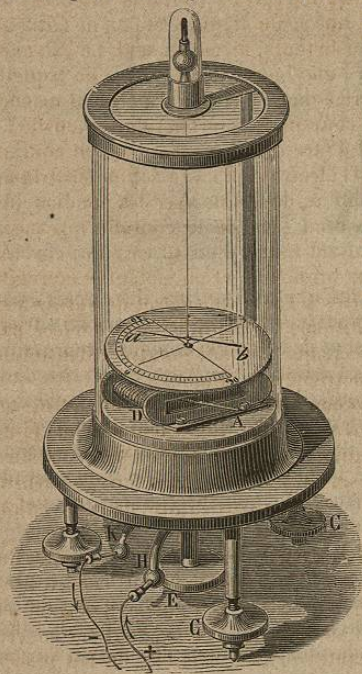


Fig. 560 (h = 29).

zéro, mais seulement jusqu'à 90 degrés. Au moyen d'un support et d'un fil de cocon extrêmement fin, est suspendu un système astatique (601) formé de deux aiguilles à coudre *ab* et *A*. la première au-dessus du cadran, la seconde dans le circuit même. Ces aiguilles, qui sont réunies entre elles par un fil de cuivre, comme celles de la figure 463 (page 561), et ne peuvent être déviées l'une sans l'autre, ne doivent pas avoir identiquement la même intensité magnétique, sinon tout courant, fort ou faible, les mettrait toujours en croix avec lui.

Les tiges recourbées *K* et *H*, qui communiquent, au-dessous de l'appareil, avec les deux bouts du circuit, sont destinées à recevoir les conducteurs qui transmettent le courant qu'on veut observer.

Les vis calantes *C* servent à placer l'appareil bien verticalement, de manière que le fil de suspension corresponde exactement au centre du cadran. Enfin, un bouton *E* transmet le mouvement au cadre *D* et au cadran, qui sont mobiles autour d'un axe vertical, afin d'amener les fils du circuit dans la direction des aiguilles et, par suite, du méridien magnétique, sans déplacer l'appareil.

Lorsque le galvanomètre est destiné à observer des courants dus aux actions chimiques, le fil qui s'enroule autour des aiguilles doit être d'un très-petit diamètre, et faire un grand nombre de révolutions, 600 à 800 au moins. Le nombre des tours s'élève même sou-

vent à 2 000 ou 3 000, et pour des expériences très-déliées il a été porté jusqu'à 30 000. Pour les courants thermo-électriques, qui seront décrits plus loin, et dont la tension est très-faible, le fil doit être plus gros et faire un nombre de tours beaucoup moindre, 200 à 300 seulement. Enfin, lorsqu'il s'agit de courants intenses, on fait usage de galvanomètres à une seule aiguille, et l'on ne fait faire au fil qu'un très-petit nombre de tours, même un seul. Le galvanomètre le plus simple est alors une boussole au-dessus de laquelle est tendu un fil de cuivre dirigé dans le sens du méridien magnétique, et dans lequel passe le courant dont on cherche l'intensité.

Le galvanomètre qui vient d'être décrit n'accuse aucun courant lorsqu'on fait passer dans le fil l'électricité d'une machine électrique, en mettant en communication l'un des bouts avec les conducteurs et l'autre avec le sol. On ne rend sensible le courant qui passe alors dans l'appareil qu'en faisant usage d'un fil très-fin, enroulé jusqu'à 2 000 ou 3 000 fois sur lui-même, et en isolant les circuits complètement les uns des autres à l'aide de soie et de vernis à la gomme laque. Avec ces conditions, les aiguilles sont déviées par l'électricité de la machine électrique, ce qui montre l'identité de l'électricité statique avec l'électricité dynamique.

709. **Graduation du galvanomètre.** — Le galvanomètre, tel qu'il vient d'être décrit, est un appareil extrêmement sensible pour constater la présence des courants, mais il ne fait pas connaître leur intensité. Pour le faire servir à cet usage, il faut construire des tables, au moyen desquelles on puisse déduire, de la déviation de l'aiguille, l'intensité relative du courant.

La méthode la plus simple pour former ces tables est celle du *multiplicateur à deux fils*. On enroule simultanément, sur le cadre de l'appareil, deux fils de cuivre recouverts également de soie, et identiques en longueur et en diamètre; puis, choisissant une source d'électricité dynamique constante, mais très-faible, on fait passer le courant dans un des fils, ce qui donne une certaine déviation, 5 degrés, par exemple. Ensuite, à l'aide d'une source électrique identique avec la première, on fait passer en même temps, dans chaque fil, un courant de même intensité; on obtient alors une certaine déviation, 10 degrés, par exemple, qui est due à l'action simultanée des deux courants, ou, ce qui est la même chose, à un courant double du premier en intensité. Si l'on fait ensuite passer dans un des fils un courant capable de produire seul la déviation 10, et dans l'autre un des courants qui ont produit la déviation 5, ce qui revient évidemment à un courant triple du premier, on obtient la déviation 15. Enfin, faisant passer dans chacun des fils, à la fois, un courant capable de donner la déviation 10, on en observe

une de 20 degrés. C'est-à-dire que jusqu'à 20 degrés, les déviations croissent proportionnellement à l'intensité du courant. Au delà, elles croissent moins vite; mais, par le même procédé, on continue à déterminer, de distance en distance, les déviations correspondantes à des intensités connues, puis on achève ensuite la table par la méthode des interpolations. Chaque galvanomètre exige une table particulière, car la relation entre l'intensité du courant et la déviation de l'aiguille varie avec le degré d'aimantation de celle-ci, avec sa longueur, avec sa distance du courant, et enfin avec la longueur du circuit.

Puisqu'on a vu ci-dessus que, jusqu'à 20 degrés, les déviations sont sensiblement proportionnelles aux intensités, on peut, dans le cas d'un galvanomètre à un seul fil, s'appuyer sur cette propriété pour mesurer jusqu'à cette limite les intensités au moyen des déviations. Au delà, il faudrait construire une table, en se fondant sur les déviations produites par des courants dont l'intensité serait connue, et en calculant ensuite, par interpolation, les intensités correspondantes aux déviations intermédiaires.

Le multiplicateur à deux fils peut servir aussi à mesurer la différence d'intensité de deux courants; ce qui s'obtient en faisant passer simultanément, en sens contraire, un courant dans chaque fil. L'appareil prend alors le nom de *galvanomètre différentiel*.

710. **Usages du galvanomètre.** — Par son extrême sensibilité, le galvanomètre est un des instruments les plus précieux de la physique. Il ne sert pas seulement à constater la présence des courants les plus faibles, mais il fait connaître leur direction et leur intensité. C'est avec cet appareil que M. Becquerel a pu constater qu'il y a dégagement d'électricité dans toutes les combinaisons chimiques, et déterminer les lois qui régissent ces combinaisons (675).

Par exemple, si l'on fixe aux extrémités du circuit du galvanomètre deux fils de platine, et si l'on plonge ceux-ci dans une capsule remplie d'acide azotique, on ne remarque aucune déviation de l'aiguille, ce qu'il était facile de prévoir, puisque le platine n'est pas attaqué par l'acide azotique. Mais si l'on verse une goutte d'acide chlorhydrique près d'un des fils immergés, aussitôt l'aiguille du galvanomètre est déviée, ce qui indique que le circuit est traversé par un courant. En effet, on sait que, par leur réaction mutuelle, les acides azotique et chlorhydrique donnent naissance à de l'acide chloro-azotique, ou *eau régale*, qui attaque le platine. On reconnaît de plus, par le sens de la déviation, que le platine est électrisé négativement et l'acide positivement.

711. **Lois des actions des courants sur les aimants.** — Les ac-

tions que les courants exercent sur les aimants sont de deux sortes, l'une directrice, l'autre attractive ou répulsive. On sait déjà (707) que l'action directrice d'un courant sur un aimant consiste en ce que le courant tend toujours à mettre l'aimant en croix avec lui, son pôle austral à gauche d'un observateur qui serait couché dans le courant, de manière que, regardant l'aimant, le courant, entre par les pieds et sorte par la tête.

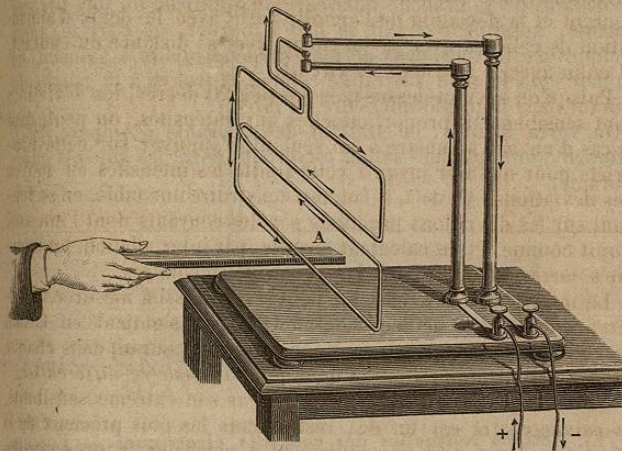


Fig. 361 (h = 45).

L'intensité de l'action directrice des courants sur l'aiguille aimantée varie avec la distance. D'après le nombre d'oscillations que fait l'aiguille à des distances inégales, sous l'influence d'un courant rectiligne, Savart et Biot ont trouvé que l'intensité de la résultante des actions directrices de toutes les parties du courant sur l'aiguille est en raison inverse de la simple distance.

Quant à l'action attractive ou répulsive des courants sur les aimants, on la constate en suspendant verticalement, par une de ses extrémités, une aiguille à coudre aimantée à un fil de soie très-fin; puis on fait passer un courant horizontal très-près de cette aiguille. On observe alors, suivant le sens du courant, des attractions ou des répulsions qui s'expliquent par l'action des courants sur les solénoïdes, lorsque l'on compare les aimants à des solénoïdes, comme l'a fait Ampère, dans une théorie que nous ferons bientôt connaître (727).

712. **Action directrice des aimants sur les courants.** — L'action directrice entre les courants et les aimants est réciproque. Dans

l'expérience d'Ersted (fig. 557), l'aiguille aimantée étant mobile, tandis que le courant est fixe, c'est elle qui se dirige et se met en croix avec le courant. Si, au contraire, l'aimant est fixe et le courant mobile, c'est celui-ci qui se dirige et vient se mettre en croix avec l'aimant, le pôle austral occupant toujours la gauche. Pour démontrer ce principe, on dispose l'expérience comme le montre la figure 561. Le circuit que parcourt le courant est mobile, et au-dessous de sa branche inférieure on approche un fort barreau aimanté : aussitôt le circuit se met à tourner, et s'arrête, après quelques oscillations, dans un plan perpendiculaire à l'aimant, de manière que le pôle austral de celui-ci se trouve à la gauche du courant dans la partie inférieure du circuit.

On verra bientôt, en traitant des courants d'Ampère (727), comment on explique l'action réciproque entre les aimants et les courants.

#### CHAPITRE IV.

##### ÉLECTRO-DYNAMIQUE, ATTRACTIONS ET RÉPULSIONS DES COURANTS PAR LES COURANTS.

713. **Actions mutuelles des courants électriques.** — Lorsque deux fils métalliques voisins sont traversés simultanément par un courant électrique, il se produit entre ces fils, selon la direction relative des deux courants, des attractions ou des répulsions analogues à celles qui s'exercent entre les pôles de deux aimants. Ces phénomènes, dont la découverte est due à Ampère, peu de temps après celle d'Ersted (707), constituent une branche de l'électricité dynamique qu'on désigne sous le nom d'*électro-dynamique*. Les lois qui les régissent présentent différents cas, suivant que les courants sont parallèles ou angulaires, rectilignes ou sinueux.

714. **Lois des courants parallèles.** — 1<sup>o</sup> Deux courants parallèles et de même sens s'attirent.

2<sup>o</sup> Deux courants parallèles et de sens contraires se repoussent.

Pour démontrer ces lois, on partage le circuit que parcourt le courant en deux parties, l'une fixe, l'autre mobile, comme le montre la figure 562. La partie fixe se compose de deux colonnes de cuivre placées verticalement sur une planchette de bois. L'électrode positive d'une pile de quatre ou cinq couples Bunsen communiquant avec le pied de la colonne qui occupe la gauche du

dessin, le courant monte dans cette colonne, se rend dans un fil A, et de là dans une capsule B, contenant du mercure. A partir de celle-ci, commence la partie mobile du circuit, laquelle se compose d'un fil de cuivre rouge, dont une extrémité repose, à l'aide d'un pivot, sur la capsule B, et l'autre plonge dans une seconde capsule C, de laquelle le courant s'élève dans la colonne à droite, qui, par son sommet, communique avec l'électrode négative de la pile.

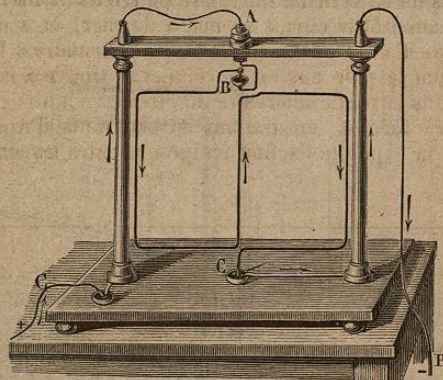


Fig. 562 (h = 51).

D'après la disposition des flèches, on voit que le courant marche en sens contraire dans les colonnes et dans le circuit mobile. Or, celui-ci, qu'on a soin de placer, avant le passage du courant, dans le plan des axes des colonnes, s'en éloigne en tournant sur son pivot B, aussitôt que le courant passe ; ce qui démontre la deuxième loi.

Pour démontrer la première, on enlève le circuit mobile de la figure 562, et on lui substitue celui représenté dans la figure 563. Le courant étant alors de même sens, dans les colonnes et dans la partie mobile, on constate qu'il y a attraction, car le circuit mobile revient toujours dans le plan des axes des deux colonnes aussitôt qu'on l'en éloigne.

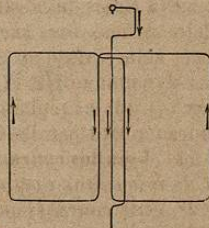


Fig. 563.

715. **Lois des courants angulaires.** — 1<sup>o</sup> Deux courants rectilignes, dont les directions forment entre elles un angle, s'attirent lorsqu'ils s'approchent ou s'éloignent tous les deux du sommet.

2<sup>o</sup> Ils se repoussent, si, l'un marchant vers le sommet de l'angle, l'autre s'en éloigne.