à propos du baromètre de Fortin. On mesure alors, à l'aide d'un cathétomètre bien réglé, et installé à poste fixe en face du baromètre, la distance verticale de la pointe *a* de la vis au niveau *b* du mercure dans le tube, et l'on ajoute à cette distance la longueur de la vis : on a ainsi la hauteur barométrique avec une grande précision. Il n'y a plus d'erreur due au déplacement du zéro de l'échelle, puisqu'on le ramène en coïncidence avec le niveau inférieur avant chaque lecture.

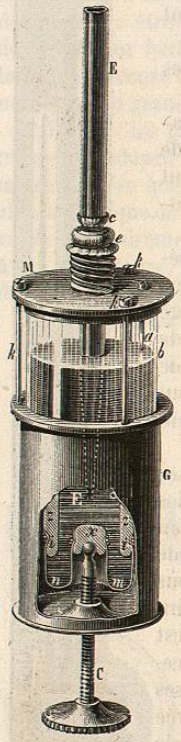

Fig. 216.

Il n'y a pas à craindre non plus, à cause du large diamètre du tube barométrique, l'erreur dite *capillaire*, qui affecte la lecture dans tous les autres baromètres. Enfin, un thermomètre, fixé sur la même planchette que l'instrument, donne la température ambiante au moment de l'observation, ce qui permet de corriger les erreurs dues à la variation de température (nous les étudierons plus loin en même temps que l'erreur due à la capillarité). C'est à cause de ces caractères de perfection que Regnault a donné à cet instrument le nom de *baromètre normal*.

199. **Baromètre de Fortin.** — 1° *Principe.* — Le *baromètre de Fortin*, sans être aussi précis que le baromètre de Regnault, peut cependant le remplacer dans un grand nombre de cas. Il a sur ce dernier l'avantage d'être beaucoup moins volumineux et de contenir moins de mercure, ce qui le rend portatif et moins coûteux.

Le caractère particulier de cet instrument est une cuvette *à fond mobile*, imaginée par le constructeur Fortin. C'est une cuvette cylindrique en verre, dont le fond est formé d'une peau de chamois, qu'on peut élever ou abaisser au moyen d'une vis de rappel C placée en dessous (fig. 216). Grâce à ce dispositif, on peut obtenir un niveau constant dans la cuvette, en faisant affleurer à volonté la surface libre du mercure à un point de repère fixe. On peut, en outre, rendre l'instrument portatif; pour cela, on soulève la peau de chamois, et le mercure avec elle, jusqu'à ce que le tube et la cuvette en soient complètement remplis; le mercure et son enveloppe ne forment alors qu'un seul bloc, de manière qu'on peut incliner ou même renverser l'instrument sans qu'il puisse y rentrer de l'air ou que le choc du mercure risque d'en briser le verre.

2° *Description.* — Fortin, ayant voulu construire un baromètre portatif, s'imposa la condition de lui donner une faible capacité, afin qu'il contînt moins de mercure. Il adapta donc un tube étroit à une cuvette de petites dimensions. Celle-ci est formée d'un cylindre de verre *b*, ayant 4 centimètres de diamètre environ sur 3 de hauteur (fig. 216) ; il est fermé à sa partie supérieure par un disque de buis fixé au-dessous d'un couvercle de cuivre M. Ce couvercle est traversé par une pointe d'ivoire *a*, qui est visible à travers le verre, et qui est destinée au même usage que la vis à deux pointes du baromètre normal. Au centre du disque et du couvercle passe le tube barométrique E, qui a 7 millimètres environ de diamètre intérieur; il se termine par une pointe effilée qui va plonger dans le mercure de la cuvette. Celle-ci et le tube sont reliés ensemble au moyen de la peau de chamois *ce*, que deux fortes ligatures fixent, d'une part en *c*, à un étranglement du tube, d'autre part en *e*, à une tubulure de cuivre fixée au centre du couvercle. Cette fermeture suffit pour empêcher la sortie du mercure lorsqu'on renverse le baromètre; mais elle ne s'oppose pas à l'action de la pression atmosphérique, laquelle se transmet très bien, à travers les pores de la peau de chamois, au mercure de la cuvette.

Fig. 217

A sa partie inférieure, le cylindre de verre *b* est mastiqué sur un cylindre de buis *zz*, et c'est sur le pourtour de celui-ci, en *ii*, qu'est fortement fixée, à l'aide d'une ligature, la peau de chamois *mn* qui forme le fond de la cuvette. A son centre, cette peau vient s'attacher à un bouton de buis *x*, lequel repose sur l'extrémité d'une vis C. Lorsqu'on tourne celle-ci dans un sens ou dans l'autre, le bouton monte ou descend, et avec lui le fond *mn*.

Un étui de laiton G enveloppe toute la partie inférieure de la cuvette et trois boulons à vis, *k*, *k*, *k*, le relient au couvercle M. De même, le tube barométrique est renfermé dans un étui de cuivre destiné à le protéger (fig. 217). Cet étui présente à sa partie supérieure deux fentes ou fenêtres longitudinales, opposées l'une à l'autre, qui laissent à nu le verre du tube et permettent de voir le niveau du mercure en A. L'une d'elles porte, gravées sur une arête, les

divisions en millimètres de l'échelle, qui a son zéro au niveau constant marqué par la pointe de la cuvette. On peut apprécier le dixième ou le vingtième de millimètre à l'aide d'un vernier (au dixième ou au vingtième) qui est porté par un curseur AB (fig. 218). On fait monter ou descendre le curseur à l'aide d'un pignon B qui engrène avec une crémaillère pratiquée sur l'autre bord de la fenêtre graduée.

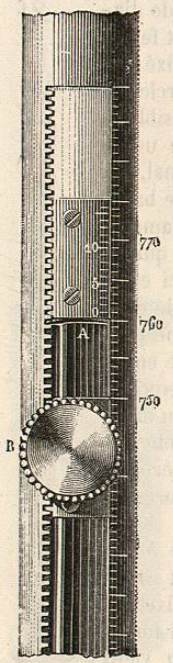

Fig. 218.

3° *Lecture du baromètre.* — On a vu (196, 1°) que le tube barométrique doit être parfaitement vertical pendant les observations. C'est pour cela qu'on commence par installer le baromètre verticalement. (Cela se fait de deux manières, suivant les cas : nous verrons plus loin comment.) On agit ensuite sur la vis C de manière à soulever le fond de la cuvette, jusqu'à ce que la surface libre du mercure vienne en contact avec la pointe d'ivoire *a* (fig. 216). Comme la surface métallique fait office de miroir plan et réfléchit la pointe *a*, il est plus facile d'apprécier l'instant précis où le contact est réalisé : *c'est l'instant où la pointe et son image se touchent.* Si l'on dépasse l'affleurement, on s'en aperçoit immédiatement à un autre phénomène de réflexion : la pointe, étant un peu mousse et n'étant pas mouillée par le mercure, déprime le liquide autour d'elle, et *on la voit entourée d'une auréole lumineuse* qui provient de la réflexion de la lumière sur la surface de la dépression. On fait alors redescendre le niveau mercuriel, jusqu'à ce que cette auréole ait disparu.

Il faut maintenant lire la hauteur du mercure dans le tube. Pour cela on se sert du curseur. Les bords supérieurs de ses deux fenêtres opposées étant situés dans un même plan horizontal, on amène ce plan à être tangent à la surface convexe du niveau mercuriel : ce contact est réalisé quand un rayon visuel, mené tangentiellement aux deux bords de ces fenêtres, rase en même temps le sommet convexe (ou ménisque) de la colonne. Supposons que le vernier du curseur soit un vernier au dixième. Le trait 0 coïncidant toujours avec le plan horizontal des bords supérieurs se trouve alors amené dans le plan horizontal du niveau. On n'aura donc qu'à lire sur l'échelle du tube barométrique le nombre entier de millimètres N, situé immédiatement au-dessous du trait 0 du vernier, puis à chercher quelle est la division *n* du vernier qui coïncide avec une division de l'échelle. On aura alors, pour la longueur *h* de la colonne barométrique, $h = \left(N + \frac{n}{10}\right)^{mm}$, à *un dixième de millimètre près* (d'après la formule ordinaire du vernier) [1].

1. Avec un baromètre de Fortin bien construit et bien établi on peut aisément répondre du dixième de millimètre. Le baromètre normal donne 1 cinquantième de millimètre ou même 1 centième de millimètre, suivant le degré de précision du cathétomètre dont on se sert. Mais les petites variations conti-

Il ne reste plus qu'à lire la température indiquée par un petit thermomètre (fig. 217) dont le réservoir est profondément enfoncé dans la gaine, de manière à donner exactement la température même du baromètre. Cette observation servira à la correction des erreurs dites *de température.*

4° *Corrections.* — L'observation de la pression atmosphérique pouvant se faire avec une grande précision à l'aide du baromètre de Fortin, il importe de connaître les causes d'erreur que ce genre de mesures comporte et le moyen de les corriger.

a. Il y a des erreurs provenant de la température et de la capillarité. Elles sont communes à tous les baromètres. Nous verrons plus loin la manière de les corriger.

b. Il y a une autre cause d'erreur qui est particulière au baromètre de Fortin : c'est le défaut de coïncidence qui peut exister entre le zéro de l'échelle et l'extrémité de la pointe d'ivoire. Pour s'en assurer, on relève au cathétomètre la distance verticale qui existe réellement entre la pointe et une division quelconque *n* de l'échelle. S'il y a coïncidence parfaite, cette distance, comptée sur l'échelle du cathétomètre, est trouvée égale à *n* millimètres. Sinon, on trouve $n \pm \varepsilon$: cette quantité ε représente l'écart qui existe dans l'instrument entre la pointe et le zéro ; on devra en corriger toutes les mesures ultérieures.

5° *Usages du baromètre de Fortin.* — Nous avons dit qu'on peut réaliser la verticalité de l'instrument par deux procédés, suivant l'usage auquel on le destine. En effet, le baromètre de Fortin peut servir aussi bien comme baromètre fixe, dans les laboratoires, que comme baromètre de voyage.

I. *Baromètre fixe.* — Dans le premier cas, on commence par l'installer le long d'un mur ou d'une planchette solide, bien verticale. Ce support est muni en haut d'un crochet, où l'on enfile un petit anneau, qui est placé au sommet de la gaine, et au bas un large anneau métallique, dans lequel passe librement le réservoir. Le baromètre ayant pris de lui-même la position verticale, on le saisit et on le fixe dans cette position à l'aide de trois vis de pression qui traversent l'anneau.

II. *Baromètre de voyage.* — *Suspension à la Cardan.* — Lorsqu'on veut se servir du baromètre dans une exploration scientifique, on l'installe verticalement à l'aide d'un support particulier appelé *suspension à la Cardan*, du nom de son inventeur.

Description. — L'étui métallique du tube est fixé par deux vis de pression *a* et *b* (fig. 219) à un manchon de cuivre X. Celui-ci porte deux tourillons *o*, *o* (dont un seul est visible dans la figure), lesquels tournent librement dans deux trous pratiqués dans un collier Y. Enfin, ce dernier porte lui-même, dans une direction perpendiculaire à celle des tourillons *o*, *o*, deux tourillons semblables, *m* et *n*, portés par un support Z. Par cette double suspension, le baromètre peut osciller librement dans deux directions rectangulaires autour des axes *oo* et *mn*, et il prend de lui-même une position d'équilibre dans laquelle son axe de figure est parfaitement vertical.

Théorie. — En effet, le baromètre et le manchon X, qui fait corps avec lui, forment une espèce de pendule composé dont l'axe de suspension est *oo* (fig. 219). Or on sait que, lorsqu'un pendule est en équilibre, son centre de gravité se trouve dans le plan vertical de l'axe de suspension. Comme le système est homogène et de forme régulière, les deux points d'attache *o*, *o* et le centre de gravité déterminent un des plans de symétrie du système. On peut donc dire que, lorsqu'il y a équilibre, l'un des plans de symétrie du baromètre coïncide avec le plan vertical de l'axe *oo*.

nuelles qu'éprouve la pression atmosphérique rendent illusoire une précision dépassant 1 dixième de millimètre. Le baromètre de Fortin doit suffire dans la plupart des cas. (Violle, *Cours de physique*, t. I.)

De même l'ensemble du baromètre et du collier Y forme un pendule composé, dont le centre de gravité se place, lorsqu'il y a équilibre, dans le plan vertical de l'axe *mn*. Comme la masse du collier Y est insignifiante par rapport à celle du baromètre, on peut admettre que le centre de gravité du second pendule coïncide sensiblement avec le centre de gravité du précédent. Par conséquent les deux points d'attache *m* et *n* et le centre de gravité déterminent un autre plan de symétrie du baromètre, qui, dans la position d'équilibre, coïncide avec le plan vertical de l'axe *mn*. Donc l'intersection des deux plans de symétrie du baromètre, *laquelle est l'axe de figure du baromètre*, coïncide avec l'intersection des deux plans verticaux *oo* et *mn*, *laquelle est une verticale*.

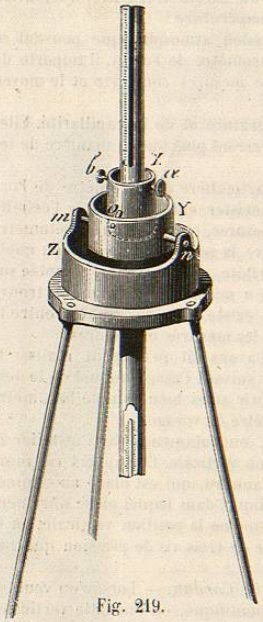

Fig. 219.

Remarque. — La suspension est souvent portée par un trépied en bois, dont les trois branches articulées sont évidées et forment, par leur réunion, une espèce de canne creuse qui sert d'étui pour serrer le baromètre et pour le transporter.

200. **Baromètres à siphon.** — 1° *Principe.* — Un *baromètre à siphon* consiste essentiellement en un tube de verre recourbé en deux branches inégales; la plus petite est ouverte et la plus grande, qui est fermée à son sommet, est remplie de mercure comme le tube d'un baromètre à cuvette. Dans cet instrument la hauteur barométrique est mesurée par *la distance verticale des niveaux dans les deux branches*.

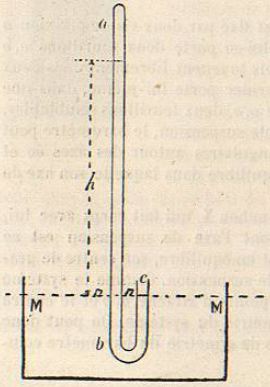

Fig. 220.

On peut s'en rendre compte de deux manières.

Soit un baromètre à siphon *abc* (fig. 220) contenant du mercure jusqu'en *n* dans la petite branche *bc*, et jusqu'en *n'* dans la grande branche. Le liquide étant en équilibre dans l'instrument, on peut appliquer la condition générale d'équilibre des liquides pesants : la pression doit y être la même en tous les points d'un même plan horizontal, par exemple sur le plan du

niveau inférieur. Or, en *n*, dans la petite branche, c'est la pression atmosphérique qui s'exerce directement, et en *n* dans la grande branche, c'est le poids de la colonne mercurielle *nn'* : donc la hauteur de cette colonne est précisément la hauteur barométrique; or on voit qu'elle est égale à la distance verticale des deux niveaux *nn'*.

On peut aussi imaginer que le tube à siphon soit coupé en *n* (fig. 220) et placé sur une cuvette à mercure MM : le mercure s'y maintiendra, comme dans un baromètre ordinaire, jusqu'à une hauteur *n'*, qui sera égale à la hauteur barométrique du moment. On ne changera rien à l'état d'équilibre actuel, si l'on solidifie tout le mercure de la cuvette, sauf dans l'intérieur d'un conduit recourbé tel que *nbn*, qu'on peut même prolonger jusqu'en *c*, au-dessus de la surface libre. Or l'ensemble du tube *an* et du conduit *nbc* constituera précisément un baromètre à siphon, et la hauteur barométrique, qui ne cessera pas d'être égale à *nn'*, sera précisément égale à la distance des niveaux dans les deux branches.

2° *Baromètre de Gay-Lussac.* — Cette forme de baromètre est très ancienne. Pascal s'en servait déjà, et la regardait comme moins coûteuse et moins embarrassante que celle de Torricelli : Gay-Lussac y a attaché son nom (fig. 221) en apportant de notables perfectionnements à sa construction.

Description. — Il prenait pour les deux branches deux portions d'un même tube bien cylindrique et il les réunissait par un tube capillaire (fig. 222, I). Cela rendait l'instrument plus aisément transportable, car lorsqu'on le retournait (fig. 222, II) de manière à remplir complètement la grande branche, le tube capillaire ne se vidait pas et fermait aux bulles d'air l'accès dans la chambre barométrique.

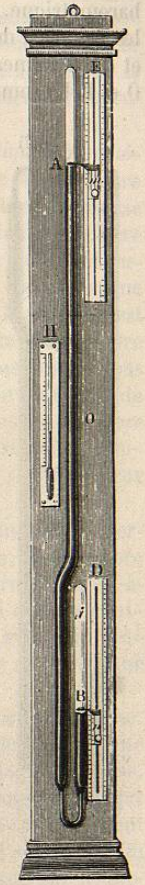

Fig. 221.

De plus, la courte branche est fermée à son extrémité supérieure comme la grande branche, de manière à empêcher l'entrée des poussières de l'air qui saliraient le mercure. Un petit trou conique *i* (fig. 223), pratiqué latéralement à l'aide d'une aiguille chauffée au rouge, suffit pour la pénétration de l'air et pour la transmission de la pression atmosphérique.

La hauteur barométrique se mesure au moyen de deux échelles ayant leur zéro commun en O (fig. 221), vers le milieu de la grande branche, et graduées en sens contraires, l'une de O vers A, l'autre de O vers B, sur deux règles de cuivre parallèles au tube barométrique. Deux curseurs à vernier, *m* et *n*, peuvent glisser sur les échelles, de manière à y indiquer les nombres de millimètres et de dixièmes de millimètre contenus entre O et A, puis entre O et B. La somme des deux nombres donne la hauteur AB.

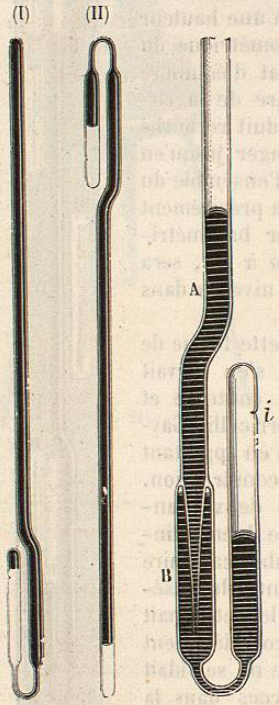

Fig. 222. Fig. 223.

Usages. — Le baromètre de Gay-Lussac, comme celui de Fortin, peut servir soit de baromètre fixe, soit de baromètre de voyage. Dans le premier cas, on le fixe sur une planchette, comme celui de la figure 221. Pour l'emporter en voyage, on commence par le retourner, comme cela est indiqué dans la figure 222 (II) : la grande branche se remplit alors de mercure, comme le tube du baromètre de Fortin, la jonction capillaire ne se vide pas et l'excès de liquide tombe au fond de la petite branche. Ainsi renversé, le siphon peut être transporté sans danger. Pour cela, on l'enferme dans un étui de cuivre entièrement semblable à celui du baromètre de Fortin, moins la cuvette. Pour que cet étui eût moins de largeur, Gay-Lussac avait eu soin de courber la branche capillaire de manière à ramener la petite branche dans le prolongement de la grande branche.

3° *Perfectionnement de Bunten.* — Pour se servir du baromètre il faut donc le redresser et le suspendre. Pendant cette opération, le mercure marche dans le tube capillaire en sens inverse de celui suivant lequel les bulles d'air tendent à rentrer ; mais en général, à cause de l'étroitesse du tube, l'air ne rentre pas, ainsi que l'avait prévu Gay-Lussac. Cependant il pourrait se faire que, par suite d'un choc trop brusque, la colonne de mercure qui reste dans le tube capillaire se divisât

et laissât passer de l'air. Pour prévenir cet accident, le constructeur Bunten imagina le perfectionnement suivant (fig. 223). Le tube capillaire n'est pas soudé directement à la grande branche, mais à un tube B, d'un fort diamètre, dans lequel cette branche pénètre en forme de pointe effilée. Grâce à ce dispositif, s'il passe des bulles d'air dans le tube capillaire, elles ne peuvent s'engager dans la pointe effilée du tube, et viennent se loger à la partie la plus élevée du renflement : là elles ne nuisent en rien à l'instrument, puisque le vide existe toujours au sommet.

201. **Construction des baromètres.** — 1° *Choix du liquide barométrique.* — On doit prendre le mercure de préférence à tout autre liquide, pour plusieurs raisons. D'abord, comme il est le plus dense des liquides, c'est celui qui prend la moindre hauteur pour faire équilibre à une pression déterminée : il en résulte que l'instrument a de moins grandes dimensions et est plus commode que s'il était construit avec tout autre liquide. De plus, le mercure est un liquide peu volatil, et les vapeurs qu'il émet à la température ordinaire n'ont qu'une tension insensible. Enfin il ne dissout pas les gaz. On n'a donc pas à craindre que les vapeurs du liquide barométrique ou les gaz dissous se répandent dans la *chambre barométrique* (on appelle ainsi l'espace vide qui se trouve au sommet de la colonne) et dépriment le mercure en vertu de leur force élastique.

2° *Purification du mercure.* — Pour que les baromètres à mercure soient des instruments non seulement précis, mais encore comparables, il faut avoir soin d'employer du mercure pur, c'est-à-dire purgé d'oxydes et de crasses métalliques, ainsi que de gouttelettes d'eau et de bulles d'air. Il faut aussi éviter avec soin l'interposition d'eau ou d'air entre les parois du tube et la colonne mercurielle.

Le mercure est ordinairement très pur quand il sort de la mine. On peut l'employer immédiatement à cet état, après l'avoir agité avec des cendres chaudes et filtré à travers une plaque poreuse. Mais quand le mercure a séjourné plus ou moins longtemps chez les marchands ou dans les laboratoires, il faut nécessairement lui faire subir une purification préalable avant de l'employer. On purifie le mercure impur soit par une distillation, soit par le procédé de Regnault.

Regnault chauffait le mercure dans une marmite en fonte, sous une couche d'acide azotique étendu de trois fois son poids d'eau. On arrêtait l'opération dès que l'on voyait apparaître les vapeurs rutilantes. Puis on laissait refroidir, on lavait à l'eau distillée et l'on séchait ensuite le métal avec beaucoup de soin.

Quant à l'expulsion de l'air et de l'eau qui ont pu s'interposer soit dans la colonne même, soit entre la colonne et les parois, c'est une opération qui se fait dans le tube même, après l'introduction du mercure.

3° *Remplissage des tubes barométriques.* — Le cas le plus simple est celui du baromètre à cuvette ordinaire. On prend un tube large, de 85 centimètres de longueur ; on le ferme à un bout, puis à l'autre bout on soude provisoirement une ampoule, qu'on en détachera après le remplissage. Quand le tube est ainsi préparé, on y verse, jusqu'au col de l'ampoule, du mercure parfaitement pur. Puis on le pose sur une grille de tôle inclinée (fig. 224), et on l'entoure de charbons incandescents, de manière à le porter à une

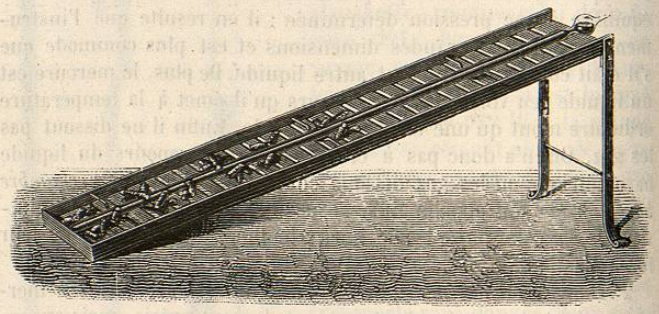

Fig. 224.

température voisine de celle de l'ébullition du mercure. On ajoute alors de nouveaux charbons vers la partie inférieure de la grille, afin de faire naître l'ébullition, et quand elle a été prolongée 4 à 5 minutes, on porte les charbons un peu plus haut; on poursuit l'opération jusqu'à ce que l'on ait fait bouillir le mercure successivement dans toute la longueur du tube. Pendant l'ébullition, les vapeurs mercurielles qui se dégagent occasionnent des soubresauts dans le tube et tendent à rejeter le mercure au dehors ; c'est à recevoir le mercure ainsi projeté qu'est destinée l'ampoule de l'extrémité supérieure.

Une fois le mercure refroidi, on enlève l'ampoule en donnant un trait de lime sur le col, on achève de remplir complètement le tube avec du mercure pur et chaud, puis on ferme hermétiquement en écrasant avec le doigt le bouton convexe qui émerge de l'orifice, comme dans l'expérience de Torricelli (fig. 211); on le renverse dans sa cuvette et le baromètre est construit.

Remarques. — 1° Après l'opération précédente, le mercure a complètement changé d'aspect : les bulles d'air et l'humidité qui adhéraient au verre ont disparu, et le tube présente l'éclat métallique d'un miroir bien étamé. C'est à ce signe qu'on reconnaît que le baromètre est bien purgé de gaz; de plus, lorsqu'on incline doucement le tube, on entend un son sec et métallique produit par le choc du mercure contre le sommet : s'il restait de l'air ou de l'humidité dans la chambre barométrique, le son serait amorti.

2° *Cas des baromètres à siphon.* — Le baromètre de Gay-Lussac se remplit de la même manière. Les deux branches sont d'abord réunies par le tube capillaire, de manière à former un seul et même tube, à peu près rectiligne; une fois le mercure introduit et bouilli, on courbe le tube dans sa partie capillaire, en le chauffant sur des charbons ou à la lampe d'émailleur.

202. **Corrections barométriques.** — Quelles que soient les précautions apportées dans la construction du baromètre, quelque précise que soit la lecture de la hauteur barométrique, toutes les observations sont nécessairement entachées de deux espèces d'erreurs, inhérentes à la nature même de l'instrument : les unes sont dues à la capillarité, les autres aux variations de la température. Appelons E_c la somme des premières et E_t la somme des autres ; soit h la mesure barométrique initiale et H la mesure corrigée : on aura évidemment

$$H = h + E_c + E_t.$$

Nous allons déterminer successivement E_c et E_t.

I. *Corrections relatives à la capillarité.* — 1° *Dépression capillaire.* — Dans tous les tubes barométriques dont le diamètre est inférieur à 25 ou 30 millimètres, la colonne mercurielle, *qui ne mouille pas le verre*, subit une dépression plus ou moins forte; de plus, au lieu de se terminer par une surface plane horizontale, elle se termine par une surface (ou ménisque) convexe. Ce fait curieux, qui est une exception aux lois de l'hydrostatique, est un fait général. Il se reproduit toutes les fois qu'un liquide, *ne mouillant pas le verre*, est introduit dans un tube étroit. Il fait partie d'un ensemble de phénomènes que nous étudierons plus loin sous le nom de *phénomènes capillaires*.

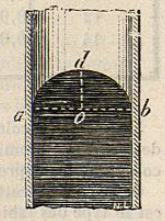

Fig. 225.

Il en résulte que dans tous les baromètres, sauf le baromètre normal, la hauteur observée est plus petite que la hauteur vraie; on commet donc, dans la lecture, une *erreur en moins*, et la correction E_c est une *quantité positive*. On démontre que cette dépression capillaire dépend à la fois du diamètre du tube et de la *flèche* du ménisque. On appelle ainsi la hauteur *od* (fig. 225) de la surface convexe du mercure au-dessus de la section horizontale *ab* qui sert de base au ménisque.

2° *Méthode générale de correction.* — Pour évaluer l'erreur capillaire, il faut donc déterminer, dans chaque cas, ces deux éléments.

Mesure de la flèche. — Pour un même tube, la longueur de la flèche n'est pas constante : elle varie selon que le ménisque est formé pendant un mouvement ascendant ou un mouvement descendant. On la mesure en faisant affleurer le bord supérieur du curseur successivement à la base du ménisque, puis au sommet. En lisant sur l'échelle le déplacement du curseur, on a la hauteur de la flèche.

Mesure du diamètre. — Le diamètre intérieur des tubes se détermine en les pesant successivement vides et pleins de mercure. La différence des poids donne le poids du cylindre de mercure contenu dans les tubes. La hauteur h de ce cylindre étant facile à mesurer, le volume et par suite la section se déduit de la formule $P = ShD$. Ce procédé ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des tubes *bien calibrés*, c'est-à-dire parfaitement cylindriques. Ordinairement le constructeur joint à l'instrument un morceau du tube qui a servi à le construire. C'est à ce bout de tube qu'on applique aisément le procédé.

Si l'on n'a pas à sa disposition de morceau de tube, on peut évaluer le diamètre intérieur du tube à l'aide d'un procédé optique, qui est une application des lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière. Il consiste à mesurer l'épaisseur du tube; on n'a plus qu'à la déduire du diamètre extérieur, qu'il est facile d'obtenir directement.

Table de correction. — Quand on a ainsi déterminé la flèche du ménisque ainsi que le diamètre intérieur du tube, on n'a plus qu'à chercher la valeur de la dépression dans des tables à double entrée, calculées d'après des formules de Laplace. Nous en donnons un spécimen dans le tableau suivant, tiré des tables calculées par Delcros d'après les formules de Schleiermacher.

DIAMÈTRE intérieur en millimètres.	HAUTEUR DE LA FLÈCHE DU MÉNISQUE.											
	mil. 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
4	0,60	0,89	1,16	1,41	1,65	1,86	2,05	2,21	2,35	»	»	»
6	0,24	0,36	0,48	0,59	0,70	0,80	0,90	0,99	1,07	1,21	1,32	»
8	0,12	0,18	0,24	0,30	0,35	0,40	0,46	0,50	0,55	0,64	0,71	0,77
10	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,40	0,44
12	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25
14	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15

La première colonne verticale à gauche contient les diamètres intérieurs des tubes; la première ligne horizontale, les hauteurs des flèches; et les autres colonnes, les dépressions. Pour tous ces nombres, l'unité est le millimètre.

On se sert de cette table comme de la table de multiplication ordinaire, qui est le type des tables à double entrée. Par exemple, si le diamètre intérieur du tube barométrique est 10 millimètres, et si la flèche est égale à $0^{mm},6$, on trouve, au point de croisement de la ligne commençant par 10 et de la colonne commençant par 0,6, le nombre $0^{mm},19$ pour la dépression cherchée.

3° *Application de la méthode générale aux baromètres à siphon.* — La correction E_c est dans ce cas la différence de deux erreurs : une *erreur en plus* provenant de la dépression du mercure dans la petite branche et une *erreur en moins* provenant de la dépression dans la grande branche. Gay-Lussac avait supposé qu'en donnant à ces branches exactement le même diamètre, ces deux dépressions seraient égales et de signe contraire et que, par suite, l'erreur due à la capillarité serait annulée. Mais l'expérience n'a pas vérifié cette prévision. Les deux ménisques ont des flèches inégales, parce que l'un est ascendant, tandis que l'autre est descendant, et la différence est bientôt accrue par suite de l'altération du mercure au contact de l'air dans la petite branche. Donc, dans les baromètres à siphon, il faut effectuer *deux corrections capillaires, au lieu d'une.* Chacune des dépressions s'évalue par la méthode générale.

4° *Cas du baromètre Fortin : méthode particulière de correction.* — Nous avons vu que le baromètre Fortin est assez précis pour remplacer, dans la plupart des cas, le baromètre normal; aussi l'usage des tables ne fournirait-il pas une correction suffisante de l'erreur capillaire, parce que les nombres qu'elles contiennent sont peu certains. On emploie alors une méthode de correction par comparaison, plus simple et plus précise. Étant donné le baromètre Fortin dont on doit se servir, on commence par l'observer pendant une quinzaine de jours comparativement avec un baromètre normal, lequel est affranchi, comme nous l'avons dit, de toute erreur capillaire. On constate nécessairement entre deux observations simultanées une différence de hauteur, qui correspond à la dépression capillaire. Si le baromètre de Fortin a été bien construit, et si la portion du tube où se meut le ménisque mercuriel est parfaitement cylindrique, la différence entre les deux observations simultanées est nécessairement un nombre *constant.* Supposons qu'il en soit ainsi. On note cette dépression constante, qui est une *constante* de l'instrument. Elle est égale à la correction qu'il faudra ajouter ultérieurement à chaque observation directe du baromètre, pour la corriger de l'erreur capillaire.

Il est évident que cette constante devra être déterminée à nouveau après toute réparation entraînant une modification matérielle de l'instrument[1].

II. *Corrections de température.* — 1° *Erreurs dues à la variation de température.* — La correction que nous avons désignée par E_t est la somme algébrique de deux corrections qui correspondent à des erreurs de signe contraire. L'une est due à la dilatation des règles métalliques qui servent à évaluer les hauteurs barométriques : c'est une *erreur en moins;* l'autre est due à la dilatation du mercure lui-même : c'est une *erreur en plus.*

Formules de correction. — *Dilatation de l'échelle.* — L'échelle ayant été graduée à 0^0, chacune de ses divisions ne vaut 1 millimètre qu'à cette température. Si t^0 est la température de l'observation, chaque division est devenue égale à $1^{mm} \times (1 + \lambda t)$ (comme on le démontrera plus tard dans le chapitre des Dilatations).

La hauteur totale, qu'on a trouvée égale à h, vaut donc en réalité $h(1 + \lambda t)$ (λ étant ce qu'on appelle le coefficient de dilatation linéaire du métal dont est faite la règle divisée; pour le laiton, $\lambda = 0{,}000019$). En ne prenant que le nombre h, lu directement sur l'échelle, on commet donc une erreur en moins égale à $h\lambda t$: la correction correspondante doit donc être *positive.*

Dilatation du mercure. — De même, le mercure à t^0 étant moins dense que le mercure à 0^0, la hauteur barométrique mesurée à la température t^0 est

1. Violle, *Cours de physique*, t. I.

plus grande, pour la même pression atmosphérique, que si le mercure du baromètre était à 0°. Soit h_0 cette dernière hauteur, D_0 le poids spécifique du mercure à 0° ; soit h la hauteur à t^0 et D le poids spécifique à t^0. D'après ce qu'on a vu plus haut, il existe entre ces quatre quantités la relation $\frac{h_0}{h} = \frac{D}{D_0}$. On verra plus tard que $D_0 = D(1 + mt)$, m étant ce qu'on appelle le coefficient de dilatation absolue du mercure ($m = 0{,}00018$). On a donc

$$\frac{h_0}{h} = \frac{D}{D_0} = \frac{1}{1 + mt}.$$

Si on effectue la division algébrique de l'unité par $1 + mt$, on trouve

$$1 - mt + m^2t^2 \ldots ;$$

tous les termes qui suivent le second contiennent le coefficient m à des puissances supérieures à la première et de plus en plus élevées ; on peut les négliger, à cause de la petitesse de m, et écrire $\frac{1}{1 + mt} = 1 - mt$. L'équation précédente devient alors

$$\frac{h_0}{h} = 1 - mt, \quad \text{d'où} \quad h_0 = h(1 - mt).$$

Donc, en prenant le nombre h lu sur l'échelle au lieu de h_0, on a commis une *erreur en plus* égale à hmt : la correction correspondante doit donc être *négative*.

3° *Réduction de la hauteur barométrique à 0°. — Hauteur réduite à 0°.* — En réunissant ces deux corrections successives, on a la correction de température complète

$$E_t = h(\lambda - m)\, t.$$

Comme le coefficient m est beaucoup plus grand que le coefficient λ, il en résulte que l'*erreur en plus*, due à la dilatation du mercure, est beaucoup plus grande que l'*erreur en moins*, due à la dilatation de l'échelle : la correction totale doit donc être négative, et il convient de l'écrire sous la forme suivante

$$E_t = -h(m - \lambda)\, t.$$

On aura enfin pour la hauteur barométrique corrigée des erreurs de température la formule définitive

$$h_0 = h + e_c - h(m - \lambda)\, t = h[1 - (m - \lambda)\, t] + e_c.$$

Le nombre h_0 est ce qu'on appelle la *hauteur réduite à zéro ;* la méthode de correction elle-même s'appelle *réduction de la hauteur barométrique à 0°*.

Enfin, la hauteur barométrique H_0, corrigée des deux sortes d'erreurs qui affectent la hauteur brute, sera donnée par la formule

$$H_0 = h_0 + E_c = h[1 - (m - \lambda)\, t] + E_c.$$

4° Remarque générale. — Pour être tout à fait rigoureux, on aurait dû faire porter la première correction de température, non pas sur la mesure brute h, mais sur cette mesure déjà corrigée de la capillarité. Cette première correction eût été alors $h\lambda t + E_c\lambda t$. De même, la deuxième correction de température eût dû porter, non pas sur la mesure initiale h, mais sur ce nombre déjà deux fois corrigé $(h + e_c)(1 + \lambda t)$, et l'on aurait eu alors la formule définitive

$$H = (h + E_c)(1 + \lambda t)(1 - mt);$$

elle ne diffère de la précédente que par des termes où entre soit le produit de E_c par l'un ou l'autre coefficient de dilatation, soit le produit de ces coefficients ; or ces termes sont négligeables à cause de leur petitesse.

203. Réduction du baromètre à la latitude de 45° et au niveau de la mer. — Si l'on fait subir les corrections précédentes aux observations barométriques, le baromètre devient un instrument de précision *toujours comparable à lui-même dans un même lieu :* autrement dit, les indications d'un même instrument, ou de deux instruments construits d'après les règles précédentes, seront constamment les mêmes pour une même pression atmosphérique dans un même lieu. Mais il n'en sera pas ainsi lorsqu'on transportera le même instrument à des altitudes ou sous des latitudes différentes. Comme le poids spécifique du mercure variera proportionnellement aux variations de g, tout se passera comme si l'on substituait au mercure primitif un autre liquide plus ou moins dense : on n'aura plus affaire au même instrument, et les hauteurs qu'on observera, en différents lieux, pour la même pression atmosphérique, ne seront pas les mêmes. Pour obvier à cet inconvénient, c'est-à-dire pour rendre le baromètre comparable à lui-même, en tout lieu, on est convenu, pour les mesures de précision, de réduire les hauteurs barométriques à ce qu'elles eussent été si le mercure de l'instrument avait toujours le poids spécifique normal qu'il possède au niveau de la mer et sous la latitude de 45°. A la hauteur corrigée, que nous avons désignée par H_0, on substitue donc une hauteur H, réduite *à la latitude* 45° *et au niveau de la mer.*

Formule de réduction. — Soit δ la densité mécanique du mercure, coefficient qui est le même partout ; soient g la valeur de l'accélération dans le lieu de l'observation, et γ la valeur de l'accélération normale : le poids spécifique du mercure est δg dans le lieu de l'observation, et le poids spécifique normal est $\delta\gamma$. Soit P la valeur de la pression atmosphérique, évaluée en kilogrammes, sur l'unité de surface : quelle que soit la colonne barométrique qui lui fait équilibre, on doit avoir

$$P = H_0\, \delta g$$

et

$$P = H\delta\gamma.$$

On a donc l'équation

$$H\delta\gamma = H_0\, \delta g,$$

d'où

$$H = H_0 \cdot \frac{g}{\gamma}.$$

Le rapport $\frac{g}{\gamma}$ a été déterminé à l'aide du pendule. Il est donné par la formule

$$\frac{g}{\gamma} = (1 - 0{,}00259 \cos 2\lambda)(1 - 0{,}00000000314\, z),$$

où λ est la latitude et z l'altitude du lieu. On a donc enfin pour la hauteur barométrique

$$H = H_0 (1 - 0{,}00259 \cos 2\lambda)(1 - 0{,}00000000314\, z).$$

204. **Pression atmosphérique en unités C. G. S. — Atmosphère C. G. S.** — Les considérations précédentes mettent en évidence ce fait que la même pression atmosphérique, étant représentée par un certain nombre de millimètres ou par un certain nombre de grammes, n'aura pas la même valeur numérique aux différents points du globe. Les météorologistes évitent cet inconvénient en réduisant la hauteur barométrique à la latitude 45° et au niveau de la mer. On arriverait au même résultat en exprimant les pressions en unités de poids C. G. S.

Nous avons vu que la hauteur barométrique de 76 centimètres correspond, à Paris, à un poids de 1033 grammes par centimètre carré : cela ferait, en dynes, $1033 \times 981 = 1{,}0136 \times 10^6$, c'est-à-dire un peu plus d'une *mégadyne*. On voit donc que le poids d'*une mégadyne* est très voisin de l'unité vulgaire de pression atmosphérique, représentée par une hauteur barométrique de 76 centimètres.

On appelle *unité de pression atmosphérique C. G. S.*, ou bien *atmosphère C. G. S*, la pression qu'exercerait un poids de 1 mégadyne par centimètre carré. Cette pression correspondrait, *à Paris*, à une hauteur barométrique de $74^{cm},978$.

205. **Prévision du temps par le baromètre.** — Un des principaux usages du baromètre, dans la pratique, est la prévision du temps, par les variations de la hauteur barométrique. Nous allons examiner jusqu'à quel point cet usage est légitime et rationnel.

On a observé, *dans nos climats*, que le baromètre se tient communément, par le beau temps, au-dessus de $0^m,758$, tandis qu'il se tient au-dessous de cette hauteur par les temps de pluie, de neige, de vent ou d'orage ; et enfin que, lorsqu'il est à $0^m,758$, il y a en moyenne autant de jours de beau temps que de jours de pluie. Cette concordance remarquable, bien constatée dans les climats tempérés, entre la hauteur barométrique et l'état du ciel justifie donc dans une certaine mesure l'emploi du baromètre pour la prévision du temps. On adapte à l'instrument, pour cet usage, une petite graduation spéciale. Elle se compose d'indications sur le temps probable qui correspond à des variations de pression de 9 millimètres sur l'échelle barométrique un peu au-dessus et un peu au-dessous de $0^m,758$.

Hauteur.	État de l'atmosphère.
785 millimètres	Très sec.
776 —	Beau fixe.
767 —	Beau temps.
758 —	Variable.
749 —	Pluie ou vent.
740 —	Grande pluie.
731 —	Tempête.

En consultant le baromètre pour prévoir les changements de

temps, il ne faut pas perdre de vue que cet instrument n'est réellement destiné qu'à mesurer le poids de l'atmosphère en un lieu déterminé, et que la colonne ne monte ou ne descend qu'autant que ce poids augmente ou diminue. Or, de ce que les changements de temps coïncident le plus souvent avec les variations de pression, cela ne veut pas dire qu'ils y soient invariablement liés. Cette coïncidence tient à des conditions météorologiques particulières à notre climat, et elle n'est pas sans offrir d'exceptions. Si les dépressions barométriques précèdent ordinairement la pluie dans nos contrées, cela tient à la situation géographique de l'Europe. En effet, les vents du sud-ouest qui font baisser le baromètre sont des vents chauds et humides : rencontrant un air plus froid, ils s'y refroidissent brusquement et abandonnent alors une partie de la vapeur d'eau dont ils étaient chargés ; celle-ci se condense et se résout en pluie. Au contraire, les vents du nord et du nord-est, qui sont froids et peu humides, font monter le baromètre ; comme ils rencontrent une atmosphère plus chaude, les vapeurs qu'ils contiennent ne peuvent se condenser et donner de la pluie.

Règle empirique. — Lorsque le baromètre monte ou descend d'une manière lente et continue pendant deux ou trois jours, vers le beau temps ou vers la pluie, *l'arrivée ou la persistance du beau temps ou de la pluie peut être considérée comme très probable.* Quant aux variations brusques, dans l'un ou l'autre sens, elles présagent la pluie ou le vent, ou même la tempête.

206. **Baromètre à cadran.** — L'un des instruments auquel on adapte le plus communément cette graduation météorologique est le baromètre très répandu sous le nom de *baromètre à cadran*. Il fut imaginé par Hooke, en 1665 ; c'est un baromètre à siphon.

L'organe apparent du baromètre est, en effet, un cadran plus ou moins orné, qui porte, étalée en cercle, une graduation météorologique : *beau temps*, *variable*, etc. ; une longue aiguille la parcourt (fig. 226), mise en mouvement par le mercure même de l'instrument, au moyen du mécanisme représenté à droite de la figure. A l'axe de l'aiguille est fixée un poulie O, sur laquelle s'enroule un fil qui porte à l'une de ses extrémités un poids P, et à l'autre un flotteur un peu plus pesant que ce poids, et soutenu par le mercure de la petite branche du siphon. Quand la pression atmosphérique vient à augmenter, le niveau baisse dans la petite branche, le flotteur descend et entraîne la poulie : l'aiguille marche de gauche à droite. Le mouvement contraire a lieu quand la pression diminue, parce que le mercure monte dans la petite branche et relève en même temps le flotteur. Il résulte de là que l'aiguille s'arrête aux indications *variable*, *pluie*, *beau temps*, *beau*