

MÉMOIRE

SUR

QUELQUES UNES DES IRRÉGULARITÉS

QUE PRÉSENTE

LA STRUCTURE DU GLOBE TERRESTRE,

PAR M. ROZET,

CAPITAINE D'ÉTAT-MAJOR.

(Lu à l'Académie des Sciences, le 7 mars 1841.)

Le dépôt général de la guerre vient de publier le second volume de la *Nouvelle description Géométrique de la France* (1), ouvrage dans lequel M. le colonel Puissant, membre de l'Institut, a rassemblé les opérations primordiales, géodésiques et astronomiques qui servent de fondement à la nouvelle carte de France, ainsi que tous les résultats numériques déduits de ces mêmes opérations.

Le chapitre V de ce second volume, intitulé *Figure de la terre*, renferme les résultats déduits de la comparaison entre un grand nombre d'observations géodésiques et astronomiques, calculées et combinées par les savantes et élégantes méthodes de M. Puissant, qui intéressent au plus haut degré la Géologie.

Je vais présenter ici un court extrait de ce chapitre, en supprimant tous les calculs de hautes mathématiques sans lesquels il serait impossible d'arriver aux curieux résultats qui y sont consignés, mais en conservant néanmoins la marche suivie par l'auteur, afin de les rendre intelligibles à tous les géologues.

J'ai également placé à la suite de cet extrait les résultats d'observations géodésiques et astronomiques, faites dans d'autres parties de l'Europe, qui confirment les découvertes de M. Puissant, ainsi que ceux déduits d'observations du pendule à secondes et du baromètre qui viennent aussi leur prêter un grand appui. Enfin, j'ai essayé de déduire de tous ces résultats quelques unes des conséquences remarquables, auxquelles ils conduisent, pour l'histoire géologique de notre planète.

(1) Deux volumes in-4°, avec cartes. Chez Piquet, quai de Conti.

§ I^{er}.

Observations géodésiques et astronomiques faites en France.

Les opérations géodésiques pour la mesure d'arcs de méridiens exécutées au cap de Bonne-Espérance par Lacaille, à l'équateur par Bouguer et Lacondamine, en France par Cassini, en Laponie par Clairaut et Maupertuis, ont prouvé, conformément à la théorie, que, sur la surface du globe terrestre, les degrés de latitude vont en croissant de l'équateur aux pôles, où, par conséquent, elle est aplatie. Mais, la valeur de l'aplatissement variant selon que l'on compare entre eux deux de ces arcs, on a été porté à penser que quelques unes de ces mesures n'étaient pas d'une rigoureuse exactitude, ou que la terre différerait sensiblement d'un ellipsoïde de révolution, solide que l'on avait cru convenir à l'ensemble des phénomènes que sa surface nous présente.

Après l'invention du cercle répétiteur par Borda, le gouvernement français, pour établir un système uniforme de poids et mesures, ordonna une nouvelle détermination de l'arc du méridien compris entre Dunkerque et le parallèle de Montjoux. Ce travail fut exécuté par Delambre et Méchain avec tout le soin désirable, et l'arc mesuré fut ensuite comparé à celui de l'équateur, parce que ce dernier a toujours inspiré beaucoup de confiance, et qu'il est très éloigné du premier. Cette comparaison, faite par une commission de savants français et étrangers, on en a déduit, en supposant la terre elliptique, pour la longueur du quart du méridien, à 13° R. 5130740 toises
pour le mètre. $\frac{5130740}{10,000,000} = 443^{\text{lign.}}, 296,$
et pour l'aplatissement. $\frac{1}{334,29}$

Plus tard Delambre, ayant révisé ses propres calculs, et fait aux positions apparentes des étoiles employées par Bouguer, des modifications fondées sur une connaissance plus intime des lois de la nutation et de l'aberration, assigna au quart du méridien une longueur de 5131111,4 avec un aplatissement de $\frac{1}{308,64}$ au lieu de $\frac{1}{309,67}$ qu'il aurait dû trouver, comme M. Puissant le prouve dans son ouvrage. Les valeurs des inégalités lunaires, tant en longitude qu'en latitude, combinées par Laplace avec les mesures des degrés terrestres et les observations du pendule, ont donné pour aplatissement $\frac{1}{306,75}$, valeur qui paraît convenir assez bien à l'ensemble du globe. La commission royale de la nouvelle carte de France, présidée par ce grand géomètre, voulut que l'on adoptât l'aplatissement consigné dans la base du système métrique dans le calcul des positions géographiques des points, ce qui, du reste, ne pouvait donner que des différences peu sensibles.

Sur plusieurs points de la France, déterminés géodésiquement, on a fait des

observations astronomiques pour en comparer les résultats avec ceux obtenus par la géodésie, et cette comparaison a révélé des anomalies notables. Dans un mémoire lu, en janvier 1833, à l'Académie des sciences, M. Puissant a montré que les différences entre les éléments géodésiques et astronomiques comparables, résultaient en partie de la supposition que les divers réseaux de triangles, dont est formé le canevas général de la carte de France, sont liés à une seule base, orientés à l'aide du seul azimuth, de belle assise sur l'horizon du Panthéon, et projetés sur un ellipsoïde, dont l'aplatissement est $\frac{1}{509}$. De là, des discordances plus ou moins sensibles entre des valeurs qui devraient être identiques. Mais, en ayant égard à une rectification de la méridienne, entre Pithiviers et la parallèle de Bourges, faite par M. le commandant Delcros, il s'établit un accord plus satisfaisant entre les côtés communs à ces réseaux et les sept bases mesurées en diverses parties de la France; et la plupart des résultats géodésiques éprouvent des modifications qui les rapprochent des résultats astronomiques. Toutefois, la relation entre la longitude et l'azimuth en un point quelconque de la surface de la terre, qui est donnée par la théorie du sphéroïde irrégulier exposée au 3^e livre de la *Mécanique céleste*, est loin de se vérifier généralement, ce qui tient, sans doute, aux influences locales dont la direction du fil à plomb se trouve affectée.

Pour discuter ce point délicat de géodésie, M. Puissant a effectué toutes les rectifications, exigées par la nature des choses, des principaux résultats dont il s'agit. Il a trouvé ainsi qu'à Dunkerque la latitude géodésique surpasse de 3",1 la latitude astronomique; qu'à Bourges, Evaux, Carcassonne et Montjoux, toujours sur la méridienne de Paris, les différences entre les latitudes géodésiques et astronomiques allaient jusqu'à 7", et celles entre les azimuths jusqu'à 23" et 26". Sur le parallèle de Brest à Strasbourg, à Brest, Crozon, Saint-Martin-de-Chaulieu, Longeville et Strasbourg, les différences entre les latitudes géodésiques et astronomiques ne dépassent pas 3", mais entre les longitudes, elles vont jusqu'à 14" et jusqu'à 10" entre les azimuths. Pour le parallèle de Bourges à Angers, Puits-Berteau, Bréri, Genève, les différences des latitudes vont jusqu'à 5", celles des longitudes jusqu'à 16", et celles des azimuths jusqu'à 38". Pour le parallèle moyen, celui qui s'étend depuis la tour de Cordouan jusqu'à Fiume, en Istrie, à Marennes, la Ferlandrie, Omme, Montceaux et le mont Colombier, les différences entre les latitudes vont jusqu'à 9", celles entre les longitudes jusqu'à 24", et celles entre les azimuths dépassent souvent 28". Enfin, pour le dôme de Milan, situé sur le prolongement de ce parallèle hors de France, la latitude géodésique surpasse de 15" celle donnée par l'astronomie, et la longitude de 19",8. Pour une ligne de Marseille aux Pyrénées, à la tour de Borda, à l'ancien phare de Planier et à l'observatoire de Marseille, la plus grande différence entre les latitudes géodésiques et astronomiques n'est

que de $3''$, et celle des longitudes de $4''$, mais celle entre les azimuths va jusqu'à $31''$, et même $41''$. On voit par ce qui précède, que c'est suivant la direction des arcs de méridiens que les différences entre les latitudes géodésiques et astronomiques sont les plus grandes, et que c'est en suivant les parallèles que l'on observe les plus grandes anomalies entre les longitudes.

Bien que les valeurs numériques de toutes les anomalies que nous venons de signaler soient purement relatives, cependant leurs variations, qu'aucune loi ne lie entre elles et dont les erreurs d'observation ne forment qu'une très petite partie, décèlent des influences locales qui indiquent le sens de la déviation du fil à plomb, et qui peuvent par conséquent jeter quelques lumières sur la constitution physique du terrain.

Deux anomalies notables se remarquent surtout dans les latitudes d'Évaux et de la station d'Omme, points situés l'un au pied nord de la chaîne du Limousin, et l'autre sur le versant oriental de celle du Puy-de-Dôme. La première avait déjà été reconnue par Delambre; la seconde, qui est un peu plus forte, $+9''$, est encore moins extraordinaire que la discordance de $10''{,}5$ trouvée entre les latitudes de Montceau et du mont Colombier, seulement distants l'un de l'autre de 44,000 mètres, et surtout que celle de $47''{,}84$, que M. Plana a trouvée dans la petite amplitude céleste de $1^{\circ}7'27''$, comprise entre Andrate et Mondovi. On remarque, en outre, des anomalies très considérables dans quelques unes des longitudes, celles du mont Colombier, par exemple.

Laplace a donné une méthode pour déterminer la différence de longitude entre deux points peu éloignés l'un de l'autre, en mesurant les azimuths des extrémités de la ligne de plus courte distance qui joindrait ces deux points et qui serait en même temps perpendiculaire au méridien de l'un d'eux, qui est presque indépendante de l'aplatissement terrestre. Cette méthode appliquée n'a pas donné des résultats plus satisfaisants que les précédentes : les différences trouvées entre les longitudes géodésiques et astronomiques sont même souvent plus considérables.

Après avoir mis tout-à-fait hors de doute les grandes anomalies qui existent entre les résultats obtenus par la géodésie et l'astronomie dans l'hypothèse de l'aplatissement de $\frac{1}{309}$, M. Puissant a cherché la valeur de celui qui jouirait de la propriété d'atténuer le plus possible ces anomalies, et il a trouvé $\frac{1}{246,07}$, qui, bien que diminuant sensiblement les différences, est loin cependant de les faire disparaître. En se servant de ce nouvel aplatissement pour calculer le rayon de l'équateur et celui des pôles, il a trouvé.

$$a = 6,380,190^m$$

$$b = 6,354,357^m$$

et pour la différence des deux axes. $25,833^m$
ou à peu près cinq lieues,

pour le quart du méridien. $q = 10,001,700^m$
 ce qui donne pour le mètre. $3^{pi} 0^{po} 11^{lig} 371$
 et cela par les seules mesures de France.

Par l'emploi de formules très simples auxquelles il est parvenu, et qui servent à corriger immédiatement les positions géographiques calculées dans une certaine hypothèse d'aplatissement, pour les faire concorder avec un autre aplatissement, M. Puissant est arrivé aux résultats suivants :

Pour qu'en partant de Paris, placé à la surface de l'ellipsoïde osculateur auquel sont rapportés tous les points de la carte de France, la latitude et l'azimuth géodésique à Angers s'accordent avec les déterminations astronomiques, l'aplatissement du sphéroïde devrait être de $+\frac{1}{604}$. En exécutant les mêmes calculs pour toutes les stations à la fois géodésiques et astronomiques, situées à l'occident du méridien de Paris et combinées avec la position de l'Observatoire royal, il a obtenu les aplatissements suivants : à Crozon $+\frac{1}{284}$, à Angers $+\frac{1}{604}$, à Puits-Berteau $-\frac{1}{20}$, à la Ferlandrie $-\frac{4}{2470}$, à la tour de Borda $-\frac{1}{470}$.

Tous ces aplatissements particuliers, qui passent du positif au négatif en allant du nord au sud, dévoilent certainement de grandes irrégularités dans les parallèles terrestres : par exemple, de Brest à Angers, le rayon de l'équateur excède celui du pôle, bien que la valeur de l'aplatissement soit beaucoup plus petite qu'elle ne devrait l'être; et à Puits-Berteau il s'opère un changement tellement brusque, que la concordance entre les résultats géodésiques et astronomiques ne saurait être établie en ce point qu'en supposant Paris et Puits-Berteau sur un ellipsoïde très allongé. Ensuite, relativement à la Ferlandrie, près de Saintes, les deux demi-axes sont presque égaux; et à l'égard de la tour de Borda, le rayon du pôle redevient sensiblement plus grand que celui de l'équateur. Il suit évidemment de là qu'aucun ellipsoïde de révolution, même en faisant la part des erreurs d'observation la plus grande possible, ne saurait satisfaire exactement à la fois à toutes les stations que nous venons de considérer. Mais il paraît que la sphère tient à peu près le milieu entre les deux sphéroïdes aplati et allongé, que l'on obtiendrait, d'une part, en groupant les stations qui répondent à un aplatissement positif, et, d'autre part, celles qui répondent à un aplatissement négatif.

Partant de là, si, dans les calculs, on fait l'aplatissement nul, on trouve qu'à l'exception de l'azimuth géodésique à la station de Crozon, les erreurs de ceux qui se rapportent aux quatre autres stations sont beaucoup plus faibles sur la sphère que sur l'ellipsoïde, dont l'aplatissement serait $\frac{1}{509}$. Cependant, ni la sphère ni cet ellipsoïde ne conviennent, à la rigueur, à la station de la tour de Borda, et il existe toujours à Puits-Berteau, dans la figure de la terre, des irrégularités qui font dévier la méridienne de l'Observatoire de Paris de la direction qu'elle aurait sans cela.

En examinant par le même procédé ce qui se passe à l'orient du méridien de Paris, et supposant toujours les ellipsoïdes particuliers tangents à la surface de la terre au point de Paris, dont la latitude est $48^{\circ} 50' 13'' 2$, on trouve pour aplatissement, à Bréri $+\frac{1}{134}$, à Omme $+\frac{1}{88}$, au mont Colombier $+\frac{1}{167}$, à Genève $+\frac{1}{217}$, à Marseille $+\frac{1}{122}$. De ce côté du méridien, tous les aplatissements obtenus en combinant les stations deux à deux se trouvent positifs et plus grands que celui de $\frac{1}{509}$ adopté dans les calculs des déterminations géodésiques relatives à la carte de France. Leurs variations assez sensibles annoncent néanmoins, comme à l'occident, de grandes irrégularités à la surface de la terre.

En cherchant, par la méthode la plus avantageuse, un ellipsoïde qui soit approprié le mieux possible à la totalité des stations orientales, M. Puissant a trouvé pour l'aplatissement $+\frac{1}{134}$, résultat qui convient assez bien à l'ensemble des observations géodésiques et astronomiques faites à l'orient du méridien de Paris. Mais bien que, dans ce cas, les erreurs en azimuths, ailleurs qu'à Genève et au mont Colombier, soient moindres qu'elles sur l'ellipsoïde dont l'aplatissement est $\frac{1}{309}$, cependant les latitudes sont encore loin d'y être bien représentées aux mêmes stations, surtout au mont Colombier et au signal d'Omme, près Clermont Ferrand.

De quelque manière que l'on s'y prenne donc pour tâcher d'atténuer les erreurs par le choix d'un ellipsoïde de révolution, il en est qui sont inhérentes aux inégalités de la terre, et qui se manifestent dans toutes les hypothèses. Ainsi, de ce côté du méridien comme de l'autre côté, la déviation du fil à plomb nous paraît incontestable, dit M. Puissant, et les plus grandes perturbations se manifestent dans les azimuths, peut-être aussi à cause de l'influence des réfractions latérales.

En définitive, ni l'aplatissement $\frac{1}{134}$, trouvé ci-dessus, ni aucun de ceux auxquels on parviendrait en groupant séparément les stations occidentales, comme nous l'avons dit précédemment, ne seraient déterminés d'une manière absolue quant à présent, malgré l'exactitude des données sur lesquelles on les fait reposer. Il y a même lieu de croire qu'ils seraient tous modifiés si l'on multipliait davantage, dans le même espace, le nombre des stations, ou si l'on changeait le point de tangence commun à tous les ellipsoïdes, ou enfin si l'on employait de bonnes différences de longitudes astronomiques et géodésiques.

Bien que les résultats précédents ne puissent laisser aucune espèce de doute, M. Puissant a cependant voulu savoir si, par des considérations d'une autre nature, il arriverait aux mêmes conséquences; il a employé la méthode de la rectification des arcs à calculer la longueur de ceux de méridiens entre deux points comprenant entre eux de petites amplitudes géodésiques ou astronomiques.

Parmi les sommets des triangles orientaux, il en est quatre qui se trouvent

à une très petite distance du méridien de Dijon, Longeville, Bréri, Montceau et Marseille. La rectification des arcs partiels, opérée au moyen de leurs amplitudes géodésiques, a donné les résultats consignés dans ce tableau.

STATIONS.	LATITUDES OBSERVÉES.	ARCS CALCULÉS.
(a) Longeville.	48° 44' 7"	216018 ^{mètres.} = A
Bréri.	46 47 36	133414 = B
Montceau.	45 35 33	254839 = C
Marseille.	43 17 48	

En faisant subir à ces longueurs quelques réductions provenant principalement des différences que donnent les diverses bases mesurées sur la surface de la France, elles deviennent

	LATITUDES MOYENNES.	LONGUEUR DU DEGRÉ.	CHANGEMENT POUR 1°.
(b) A = 216018 ^m	47° 45' 51"	111233 ^m	— 75 ^m ,0
B = 133425	46 41 34	111115	— 60 ^m ,4
C = 254846	44 26 41	111012	

Bien que les longueurs de ces degrés décroissent en allant du nord au sud ; et accusent un fort aplatissement, cependant elles ne sont nullement en rapport avec l'hypothèse d'un ellipsoïde régulier et de révolution, puisque, dans ce cas, le décroissement qui devrait être à peu près de 18^m par degré à notre latitude, est d'abord de 75^m et ensuite de 60^m.

Pour la méridienne de Paris, M. Puissant donne le tableau suivant, contenant les résultats trouvés par Delambre, et ceux qui proviennent tant de leur rectification, due à la discordance des bases de Melun et de Perpignan, que de la correction faite de l'erreur qui avait été commise dans l'évaluation de la distance méridienne de Montjoui à Formentera. »

STATIONS.	LATITUDES OBSERVÉES.	LONGUEURS DES DEGRÉS		CHANGEMENT POUR 1 ^o , Selon Puissant.
		SELON		
		Delambre.	Puissant.	
Greenwich.	51° 28' 40''	111284 ^m ,5	111284 ^m ,5	
(c) Dunkerque	51 2 8	111266	111266	— 14 ^m ,0
Panthéon.	48 50 49	111230	111239	— 11 ,0
Evaux.	46 10 43	111052	111061	— 63 ,2
Carcassonne	43 12 54	111018	111026	— 14 ,0
Montjoux	41 21 47	110992	111040	+ 5 ,0
Formentera	38 39 56			

Ce tableau nous montre qu'entre Dunkerque et Paris la surface est déprimée, mais légèrement, parce que le degré décroît un peu moins que cela ne devrait être d'après la théorie, qui donne—18^m. Entre Paris et Evaux la surface se déprime encore ; mais entre Evaux et Carcassonne, où le méridien passe sur les chaînes du Limousin, de l'Auvergne et des Cévennes, la forte diminution dans la longueur du degré — 63^m annonce un bombement très prononcé de la surface. De Carcassonne à Montjoux la surface se déprime de nouveau, bien que dans ce trajet la ligne passe à l'extrémité orientale des Pyrénées. Enfin, de Montjoux à Formentera l'allongement du degré dénote une forte dépression. Nous ferons voir plus loin que les observations du pendule sont d'accord avec ces résultats.

Les observations géodésiques et astronomiques effectuées à l'ouest de la méridienne de Paris, et en différents points de celle d'Angers, nous offrent également le moyen d'en déduire la mesure d'un arc de méridien, composé de trois parties, placées à peu près symétriquement à celles du méridien de Dijon. Toutes les réductions et les corrections faites, voici les résultats de ces observations.

STATIONS.	LATITUDES MOYENNES.	ARCS CORRIGÉS.	LONGUEURS DES DEGRÉS.	CHANGEMENT
				POUR 1 ^o .
(d) Saint - Martin - de - Chaulieu.	48° 6' 8''	140889 ^m ,5	111153 ^m ,4	
Angers (observatoire).	46 36 24	191600 ,6	111148 ,9	— 3 ^m ,0
La Ferlandrie.	44 43 42	226039 ,1	111182 ,7	+ 18 ,1
Tour de Borda				

De ce côté de la méridienne de Paris, on remarque d'abord un très faible

» aplatissement en allant du nord au sud , puis tout-à-coup un allongement des
 » degrés ; et c'est aussi ce qui a été reconnu précédemment en cherchant quels
 » seraient les ellipsoïdes qui satisferaient aux observations célestes , en combinant
 » les stations deux à deux , celle de l'Observatoire de Paris étant commune à tous
 » ces ellipsoïdes. Il est donc suffisamment prouvé que les deux parties de la sur-
 » face de la France que nous venons d'examiner (autant , du moins , que le per-
 » met la géodésie encore incomplète du royaume) , sont dissemblables , et que
 » l'arc du méridien terrestre , dans nos contrées , est une courbe à double cour-
 » bure assez prononcée , puisque , si la terre était réellement un solide de révo-
 » lution , les différences entre les azimuths géodésiques et les azimuths astronomi-
 » ques correspondants , seraient nulles sur tous les points de cette ligne , quel
 » que fût l'aplatissement , abstraction faite toutefois des petites erreurs d'obser-
 » vation. Enfin , il est incontestable que quand la direction du fil à plomb , dont
 » dépendent essentiellement les valeurs absolues des coordonnées d'un point de
 » la terre , est troublée , soit par l'attraction de quelque montagne voisine , soit
 » parce que la densité du terrain est plus grande ou plus petite que la densité
 » générale de la croûte terrestre , on ne peut vérifier , non seulement la loi de
 » la variation des degrés des méridiens et des parallèles dans l'hypothèse ellip-
 » tique , mais en outre la relation qui existe , sans cette cause perturbatrice , entre
 » les azimuths et les longitudes sur un sphéroïde irrégulier peu différent d'une
 » sphère. Ainsi , ces anomalies nombreuses tiennent nécessairement à des varia-
 » tions d'une grande étendue dans la nature du sol de la France et de l'Italie , et
 » les mesures géodésiques comme celle du pendule à secondes , lorsqu'elles réu-
 » nissent toutes les conditions requises , sont éminemment propres à les signaler
 » aux géologues. »

Tels sont les curieux résultats auxquels M. le colonel Puissant est parvenu , et les conclusions qu'il en a déduites. Voyons maintenant ce que nous apprennent les opérations géodésiques et astronomiques exécutées dans d'autres parties de l'Europe.

§ II.

Observations géodésiques et astronomiques faites hors de France.

La différence de $+ 47''{,}84$ dont nous avons parlé page 4 , trouvée par MM. Plana et Carlini (1) entre l'amplitude géodésique et l'amplitude astronomique $1^{\circ} 7'27''$, comprise entre Andrate et Mondovi , est attribuée par ces observateurs à des forces attractives qui ont dévié le zénith d'Andrate de $28'1$ vers le sud , et celui de Mondovi de $19''74$ vers le nord. Mais , ajoutent-ils , « si les causes extérieures » pourraient suffire pour expliquer cette espèce de perturbation dans la direction

(1) *Opérations géodésiques et astronomiques*, etc., t. II, p. 347.

» du fil à plomb, il faudrait l'attribuer du côté du sud à la chaîne des Alpes
 » maritimes, et du côté du nord à la chaîne des Alpes groïennes; mais il est
 » possible aussi que ce singulier phénomène soit produit en grande partie par
 » une irrégularité dans la densité des couches terrestres; les données nécessaires
 » pour séparer ces deux effets manquent. Si l'on était disposé à vouloir considérer
 » la masse des montagnes comme une cause prépondérante, on serait aussitôt
 » arrêté, en comparant la latitude géodésique de Parme, déduite en partant de
 » Milan, avec la latitude astronomique qui y fut observée. Ici l'on trouve une
 » différence de 20''4, et cependant ces deux villes sont situées au milieu d'une
 » plaine, à une distance telle des montagnes, qu'elle ne permet guère de regarder
 » l'attraction de leur masse extérieure comme capable de produire un effet aussi
 » considérable. Au reste, le principe de l'analogie, et le résultat de plusieurs
 » autres observations, concourent à faire croire que les anomalies que l'on vient
 » de citer ne sont pas purement locales; il est probable que la cause qui les
 » produit s'étend à toute la Péninsule, et même à toute l'Europe, en se modifiant
 » différemment. Les travaux géodésiques exécutés dans ces derniers temps se-
 » raient très propres à faire connaître la marche de ce phénomène; mais ces
 » travaux n'étant pas tous publiés, on n'a pu profiter que des morceaux détachés
 » que l'on trouve dans divers ouvrages. » D'où il résulte que, dans les lieux
 énumérés ci-dessous, on trouve, pour la différence entre les latitudes géodé-
 siques et astronomiques :

A Clefton + 1'',4, à Arbury + 6'',4, à Blenheim + 8'',2, à Greenwich + 5'',4,
 à Dunose + 2'',0 en Angleterre; à Vienne — 4'',8, à Wels + 13'',4, à Munich —
 4'',1, à Erlau + 6'',1, à Common + 8'',2, à Inspruck — 3'' en Allemagne; à An-
 drate + 28'',1, à Milan + 15'',0, à Vérone + 13'',6, à Venise + 2'',3, à Padoue
 + 1'',5, au mont Cenis + 8'',5, à Turin + 8'',1, à Parme — 6'',9, à Modène —
 5'',1, à Gènes — 3'',3, à Mondovi — 19'',8, à Florence — 14,6, à Pise — 6'',1, à
 Rimini — 12'',2, à Rome — 1'',5, en Italie.

En calculant la longueur des arcs du parallèle moyen, avec un aplatissement
 de $\frac{1}{309}$, MM. Plana et Carlini ont trouvé :

	PAR LA GÉODÉSIE.	PAR L'ASTRONOMIE.	DIFFÉRENCES.
(e) De Milan à Turin.	118428 ^m ,71	117743 ^m ,4	— 635 ^m ,3
— au mont Cenis.	177017 ,30	177248 ,4	+ 231 ,1
— au Colombier	270317 ,32	270444 ,4	+ 127 ,1
— à Ysson.	475121 ,06	474712 ,0	— 409 ,4

« Le plus grand écart, ajoutent-ils, tombe sur la longueur de l'arc compris

» entre les observatoires de Milan et de Turin, aux extrémités duquel les observations ont été faites avec les meilleurs instruments et répétées un plus grand nombre de fois; on ne peut donc se refuser d'admettre une irrégularité assez considérable dans la figure de la terre. »

Dans un travail que nous citons plus bas, M. de Beaumont a remarqué que l'arc, Turin, mont Colombier, qui se compose de la somme des deux arcs, Turin mont Cenis, et mont Cenis mont Colombier, qui présente une courbure trop rapide, comme le montre le tableau, puisque les longueurs astronomiques surpassent celles données par la géodésie, est, pour ainsi dire, à cheval sur le système des Alpes occidentales, et coupe perpendiculairement la ligne tirée de Marseille à Zurich, qu'il considère comme la direction dominante dans cette partie des Alpes, et un des axes principaux du continent européen. Le même tableau montre aussi que de Milan à Turin, et du Colombier à Ysson, espaces où la ligne traverse de grandes vallées, celles du Pô, du Rhône, de la Loire, de l'Allier, la courbure générale est moins forte qu'elle ne devrait être dans l'hypothèse adoptée; car les longueurs géodésiques sont beaucoup plus grandes que celles déduites des observations astronomiques.

L'ensemble des opérations exécutées en France et en Italie par les ingénieurs géographes français et les savants étrangers, sur le parallèle moyen, dont la latitude est $50^{\circ} 8' = 45^{\circ} 43' 12''$, fournit le moyen d'établir la comparaison suivante entre les amplitudes astronomiques et géodésiques, pour huit arcs partiels de cette ligne qui comprennent toute son étendue, depuis l'Océan jusqu'à l'Adriatique (Puissant, t. II, p. 622).

ARCS PARTIELS.	AMPLITUDES		DIFFÉRENCES DES AMPLITUDES	
	ASTRONOMIQUES.	GÉODÉSIIQUES.	EN TEMPS.	EN ARC.
1. De Marennes à Saint-Preuil.	0 ^h 3' 48'' 990	0 ^h 3' 49'' 430	— 0'' 440	— 6'' 60
2. De Saint-Preuil à Sauvagnac.	0 6 23 094	0 6 22 910	+ 0 184	+ 2 76
3. De Sauvagnac à Ysson (signal).	0 6 51 391	0 6 51 160	+ 0 231	+ 3 46
4. D'Ysson au mont Colombier.	0 10 22 710	0 10 24 179	— 1 469	— 22 03
5. Du Colombier au mont Cenis.	0 4 44 030	0 4 44 342	— 0 312	— 4 68
6. Du mont Cenis à Milan (dôme).	0 9 0 806	0 9 0 102	+ 0 704	+ 10 56
7. De Milan (dôme) à Padoue.	0 10 45 383	0 10 45 230	+ 0 153	+ 2 29
8. De Padoue à Fiume.	0 10 13 536	0 10 15 310	— 1 774	— 26 61
Arc total.	1^h 2' 9'' 940	1^h 2' 12'' 663	— 2'' 723	— 40'' 85

L'examen de ce tableau montre que de Marennes à Saint-Preuil, espace situé dans le voisinage de l'Océan, la ligne est déprimée, puisque l'amplitude géodésique surpasse de $6''60$ l'amplitude astronomique; mais de Saint-Preuil à Sauvagnac, où elle passe par-dessus des montagnes, la courbure augmente; de Sauvagnac à Ysson, où la ligne passe par-dessus la chaîne de l'Auvergne, elle augmente encore davantage, puisque la première différence était $+ 2''76$ et que la seconde est $+ 3''46$; mais du signal d'Ysson au mont Colombier, situé au sommet du Jura, la courbure diminue beaucoup, car la différence des amplitudes est $- 22''03$, et, dans cet intervalle, la ligne passe par-dessus de grandes dépressions, les vallées de l'Allier, de la Loire, de la Saône et du Rhône; du mont Colombier à l'observatoire du mont Cenis, la courbure augmente considérablement, puisque la différence n'est plus que de $- 4''68$, mais elle est cependant encore moins forte que celle de l'ellipsoïde : aussi la ligne a-t-elle à traverser ici la grande dépression qui sépare le Jura des Alpes. Mais du mont Cenis à Milan, espace dans lequel se trouve le grand escarpement des Alpes, où viennent au jour une quantité de roches plutoniques, mélaphyres, serpentines, la courbure augmente de $10''56$, et d'après le tableau (e), cette augmentation a seulement lieu du mont Cenis à Turin; mais de Turin à Milan, la courbure diminue, puisque l'amplitude géodésique surpasse de $635''$ l'amplitude astronomique, et l'arc passe par-dessus les grandes vallées du Tessin et du Pô. De Milan à Padoue, où se trouvent de petites montagnes, il y a augmentation de courbure; enfin, de Padoue à Fiume, sur le bord de l'Adriatique, la courbure diminue plus que partout ailleurs, puisque la différence des amplitudes est de $- 26 61$.

La discussion des différentes courbures du parallèle moyen nous conduit donc aux mêmes conclusions que celle des courbures de la méridienne de Paris, tableau (c), c'est-à-dire que la courbure des lignes augmente très sensiblement toutes les fois qu'elles passent par-dessus des chaînes de montagnes, et qu'elle diminue dans les intervalles qui séparent les chaînes les unes des autres, ainsi que dans le voisinage du bassin des mers.

La discussion des autres lignes géodésiques qui traversent la France, les méridiennes de Bayeux et de Sedan, les perpendiculaires de Brest à Strasbourg, de Bourges et de Rhodéz, conduirait aux mêmes résultats. Voyez la carte.

Dès l'année 1818, l'Angleterre et une partie de l'Écosse étaient couvertes de triangles destinés à former le canevas d'une grande carte topographique des îles Britanniques. A cette époque, le capitaine Mudge publia, dans un magnifique ouvrage (1), l'ensemble des observations géodésiques et astronomiques exécutées à cet effet et les résultats numériques qui en ont été déduits. Ces ré-

(1) *An account of the operations carried on for accomplishing a trigonometrical survey of England and Wales, etc.*

sultats s'accordent généralement assez bien avec l'hypothèse admise sur la forme du globe; mais dans la partie orientale de l'Angleterre, celle où le sol est le moins accidenté, ils présentent des anomalies très fortes : la détermination de l'amplitude des arcs entre deux points, par l'observation des étoiles, a donné les résultats contenus dans le tableau suivant.

STATIONS.	LATITUDE MOYENNE.	LONGUEUR DU DEGRÉ.
Arbury-Hill et Clepton	52° 50' 30"	60766 Fath ^s .
Bleinheim et Clepton.	52 38 56	60769
Greenwich et Clepton.	52 28 6	60794
Dunose et Clepton	52 2 20	60820
Arbury et Greenwich.	51 51 4	60849
Dunose et Arbury.	51 35 18	60864
Bleinheim et Dunose.	51 13 18	60890
Dunose et Greenwich	51 2 54	60884

« Ce tableau (1) présente un résultat bien singulier et bien inattendu. On savait bien que des degrés consécutifs pouvaient présenter des irrégularités provenant soit des erreurs inévitables des observations ou des instruments, soit enfin des irrégularités de la terre; mais, dans l'opération de France (celle de la méridienne), les degrés allaient tous en décroissant avec les latitudes : ici c'est tout le contraire; quelle en peut être la cause? Les observations sont nombreuses et s'accordent en général autant qu'on pouvait le désirer. Si une pareille masse de distances (les hauteurs d'étoiles), qui présentent un pareil accord, peut cependant conduire à des conclusions qui paraissent contraires à la théorie, il faudra dire du secteur de Ramsden ce que cet artiste disait du cercle de Borda : que des observations bien ensemble pouvaient cependant conduire à des résultats erronés. » Après avoir montré que ces différences singulières ne proviennent ni des erreurs d'observation ni de celle de l'instrument, le capitaine Mudge ajoute : « Je sais bien qu'il est possible de faire une supposition qui expliquerait une déviation de cette force; ainsi, dans un pays où se trouve beaucoup de matière calcaire, comme dans la partie sud du royaume, si l'instrument était placé juste à la limite de deux couches dirigées vers l'est et l'ouest, l'une de chaux et l'autre d'une matière plus dense, on aurait les effets observés; mais on ne peut appliquer ce principe à Dunose, et

(1) *Connaissance des Temps pour 1818*, page 270, etc.

» aucune apparence extérieure n'indique que la supposition soit plus juste pour
» Arbury et Clefton.

» Si l'on emploie l'arc terrestre entre Blenheim et Dunose avec l'arc céleste
» correspondant, à trouver l'arc céleste total, on aura $2^{\circ} 51' 11''8$, ce qui donne
» $11''8$ de déviation à Clefton. Si l'on emploie au même calcul l'arc terrestre,
» entre Dunose et Greenwich, on trouvera $10' 3$. En général, les observations
» conspirent à prouver que le fil à plomb a été attiré vers le sud à toutes les
» stations; et cela par des forces attractives qui augmentent en allant vers le nord.»

Pour rendre les résultats plus indépendants des attractions locales, le capitaine Mudge a mesuré deux arcs de méridiens passant par Dunose et de Delamère-Forêt, dont la différence en longitude est de $1^{\circ} 28' 55''$, et de cette manière il a trouvé :

	LATITUDE.	DEGRÉ MOYEN.
Entre Dunose et Clefton. . . .	$52^{\circ} 2' 30''$	60823,0
— Dunose et Delamère-Forêt.	51 55 15	60830,3
— Dunose et Arbury - Hill. .	51 35 17	60864,0

« Ces trois degrés, dit-il, vont encore en augmentant quand la latitude diminue, et le résultat d'Arbury n'en reste pas moins inexplicable; car on ne voit pas comment un secteur qui n'a point d'erreur sensible, ou qui a sensiblement la même erreur qu'à Dunose, Clefton et Delamère-Forêt, a pu contracter à Arbury une erreur de $5''$. De tout cela, le capitaine Mudge conclut : *It will be improper to dwell on this matter at present. Le moment n'est pas encore venu de s'occuper de cette matière.* » Ainsi, dans les îles Britanniques comme sur le continent, les irrégularités dans la structure du globe terrestre sont donc mises hors de doute par la comparaison entre les mesures géodésiques et astronomiques. Nous pourrions, par des recherches plus étendues, montrer que pour les autres contrées de la terre où ces deux genres d'observations ont été exécutés ensemble, les mêmes méthodes conduisent à des résultats semblables à ceux qui précèdent; mais, outre que les matériaux sont rares et difficiles à se procurer, cela n'est pas indispensable pour atteindre le but que nous nous proposons dans ce Mémoire. Voyons maintenant comment les observations du pendule concordent avec les précédentes.

§ III.

Observations du pendule à secondes, faites sur différents points du globe.

Les observations du pendule faites par MM. Arago, Biot et Mathieu, de Dunkerque à Formentera, sur le méridien de Paris, ou à une très petite distance de cette ligne, donnent, de Dunkerque aux Pyrénées, une longueur un peu plus courte pour le pendule à secondes que celle déduite du calcul en supposant le globe ellipsoïdal avec un aplatissement de $\frac{1}{309}$ (1), et dans cet espace, la courbure de l'arc du méridien est un peu plus forte qu'elle ne devrait être d'après la théorie; mais à Formentera, c'est au contraire la longueur observée qui est la plus grande; elle excède de 0^{mm},008 celle donnée par le calcul, et entre ce point et Montjoux la géodésie signale une augmentation sensible dans la longueur du degré de latitude, une diminution de courbure de l'arc. Ce résultat nous porterait à croire que le pendule bat moins vite sur les bombements que dans les dépressions de la surface de notre globe. Pour savoir s'il en est effectivement ainsi, nous avons rassemblé dans le tableau suivant une partie des observations du pendule faites à la surface des mers et des continents par les navigateurs et les physiciens les plus éminents.

(1) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques*, page 575.

STATIONS.	LATITUDE.	VIBRATIONS		DIFFÉRENCES	OBSERVATEURS.
		OBSERVÉES.	CALCULÉES.		
Rawak.	0° 1'	86261,46	86264,86	— 3,40	Freycinet.
Saint-Thomas	0 24	68,84	64,87	+ 3,97	Sabine.
Galapagos.	0 32	64,56	64,88	— 0,32	Hall.
Para	1 27	60,61	65,00	— 4,39	Foster.
Maranham.	2 31	58,74	65,30	— 6,56	Fos.
Ualan.	5 21	75,44	66,78	+ 8,66	Leutke.
Ascension.	7 55	72,26	69,06	+ 3,20	Fos.
Sierra-Leone.	8 29	67,54	69,70	— 2,16	S.
Porto-Bello	9 32	72,01	70,96	+ 1,05	Fos.
Trinidad.	10 38	67,24	72,42	— 5,18	Fos.
Bahia.	12 59	72,38	76,07	— 3,69	S.
Madras	13 4 N.	72,36	76,19	— 3,83	Goldingham.
Guam.	13 26	80,64	76,84	+ 3,40	Leutke.
Sainte-Hélène	15 34 S.	88,29	81,54	+ 6,75	Leutke.
Id.	15 56	88,29	81,54	+ 6,75	Fos.
Jamaïque.	17 56 N.	84,66	85,90	— 1,24	S.
Ile de France.	29 9 S.	97,60	91,20	+ 6,40	Duperrey.
Id.	29 10	98,08	91,23	+ 6,85	F.
Ile Mowi.	20 52 N.	97,52	93,00	+ 4,52	F.
Saint-Blas.	21 32	88,80	94,77	— 5,97	Hall.
Rio - Janeiro.	22 55 S.	93,48	98,52	— 5,04	F.
Bonin-Island.	27 4	322,06	310,81	+ 11,25	Leutke.
Valparaiso.	33 2	328,16	330,82	— 2,66	Leutke.
Paramata.	33 48	331,48	333,55	— 2,07	Brisbane.
Port-Jackson.	33 51	332,94	333,68	— 0,74	Duperrey.
Cap de Bonne- Esp.	33 54	86331,33	86333,90	— 2,57	Fos.
Montevideo	34 54	34,36	37,48	— 3,12	Fos.
New-York.	40 42 N.	58,06	59,22	— 1,16	S.
Toulon.	43 7	67,16	68,48	— 1,32	Duperrey.
Clermont.	45 46	»	»	— 2,09	Biot. Mathieu.
Milan.	45 28	»	»	»	Biot.
Paris.	48 50	86388,56	86390,54	— 1,98	Duperrey.
Greenwich	51 28	399,79	400,58	— 0,79	Moyenne de 5 résultats.
Londres	51 31	399,72	400,74	— 1,03	S.
Falkland - Island.	51 31	399,84	400,78	— 0,94	Duperrey.
Arbury - Hill.	52 12	403,68	403,35	+ 0,33	Kater.
Cleston.	53 27	07,48	07,99	— 0,51	Kater.
Altona.	53 32	08,98	08,29	+ 0,70	S.
Staten-Island.	54 46	15,22	12,80	+ 2,42	Fos.
Cap Horn.	55 51 S.	17,98	16,72	+ 1,26	F.
Pétersbourg.	59 56	32,20	30,94	+ 1,26	Leutke.
Unst.	60 45	35,40	33,64	+ 1,76	Kater.
S. - Shetland.	62 56	44,52	40,65	+ 3,87	Fos.
Drontheim	63 25	38,64	42,20	— 3,56	S.
Hammerfest	70 40	61,14	62,23	— 0,09	S.
Port - Rawen.	73 13	70,48	68,06	+ 2,42	Fos.
Groënland.	74 32	70,72	70,75	— 0,03	S.
Spitzberg.	79 50	83,28	79,58	+ 3,70	S.

Ce tableau montre que le nombre d'oscillations, ou la longueur du pendule à secondes, croît en allant de l'équateur vers les pôles conformément à la formule $l = A + B \sin^2 \lambda$, dans laquelle A étant la longueur à l'équateur, A + B la lon-

gueur au pôle, l est la longueur en un point quelconque dont la latitude serait λ . Mais cet accroissement est loin d'être régulier, comme on peut s'en convaincre en jetant les yeux sur la colonne des nombres de vibrations observées. L'examen de cette colonne montre que c'est dans les îles éloignées des continents, Saint-Thomas, l'Ascension, Sainte-Hélène, Ile de France, île Mowi, Bonin-Island, Staten-Island, Unst, South-Shetland, etc.; sur des côtes plates, Porto-Bello, cap Horn, Pétersbourg, Spitzberg, etc., que le nombre d'oscillations est le plus grand, quelle que soit du reste la latitude, et que c'est au contraire sur les continents et dans le voisinage des chaînes de montagnes que le pendule bat le moins vite, Rawak, Para, Maranham, Sierra-Leone, la Trinité, Madras, la Jamaïque, Rio-Janeiro, Valparaiso, Paramata, cap de Bonne-Espérance, Montevideo, Toulon, Clermont, Milan, Drontheim, Hammerfest, etc. Les chaînes de montagnes auraient-elles donc une influence marquée sur la marche du pendule, comme sur la direction de la verticale? Les deux phénomènes seraient-ils intimement liés? Mais avant de chercher à quelles conséquences peut conduire cette liaison, voyons de quelle manière varie la hauteur de la colonne barométrique, ramenée à la surface des eaux tranquilles, quand on parcourt un grand espace sur la terre.

§ IV.

Observations barométriques faites sur un grand nombre de points de la surface des mers et des continents.

M. J.-E. Schouw, professeur de botanique à Copenhague, a publié dans le tome LIII, pag. 113 et suivantes des *Annales de chimie et de physique*, un magnifique travail sur la hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer, dans lequel il a rassemblé la plus grande partie des moyennes barométriques déterminées par divers observateurs sur la surface des continents et des mers. Il a discuté la valeur de toutes les observations dont il rapporte les résultats; il a fait à quelques unes les corrections nécessaires pour les faire entrer en comparaison avec les autres. Il est allé lui-même observer en Islande, en Italie et dans les îles de la Méditerranée, muni de deux baromètres, l'un à cuvette et l'autre construit d'après les principes de M. Gay-Lussac. Partout où cela lui a été possible, il a comparé ses instruments avec ceux qui avaient servi pendant plusieurs années à établir les moyennes locales, et toujours il a tenu compte des différences, qui n'ont jamais été bien considérables. Enfin, toutes les moyennes contenues dans le tableau suivant ont été ramenées au niveau de la mer pour chaque localité à la température de 0° et corrigées de la variation de la pesanteur et de l'effet de la capillarité. Les grandes différences qui existent entre les nombres de ce tableau ne peuvent aucunement être attribuées à des influences locales accidentelles; car l'expérience a prouvé que, pour des moyennes résultant de périodes de 6, 8 et 12 ans d'observations, la plus grande différence entre celle de deux années quelconques n'excède pas $1^{\text{m}},8$, et que pour des périodes de 1 à 4 ans, la variation ne s'élève pas à une ligne. Ce sont donc

des causes permanentes, inhérentes à la position des lieux qui donnent les grandes différences entre les moyennes barométriques, quoique souvent les points de station soient peu éloignés l'un de l'autre, comme Paris et la Rochelle, Marseille et Nice, Malte et Tripoli.

Voici le tableau placé à la fin du mémoire de M. Schouw.

LATITUDE.		LIEUX DE STATION.	MOYENNES EN LIGNES.	DURÉE DES OBSERVATIONS.
Nord.	75°	Spitzberg.	^{lig.} 335,47	6 à 12 ans.
	74	Ile Melville	335,61	2 ans.
	73	Upernavik.	334,71	1 an.
	68	Godhavn.	334,03	2 mois.
	66	Egafjord	334,06	2 mois.
	64	Godthaab.	333,33	6 mois.
	64	Reikiavig.	333,36	12 ans.
	62	Frederiksh.	331,80	7 mois.
	60	Bergen.	335,58	4 ans.
	60	Christiania.	336,30	7 ans.
	60	Pétersbourg	336,89	20 ans.
	59 $\frac{1}{2}$	Stockholm.	335,65	5 ans.
	59 $\frac{1}{2}$	Spydberg.	336,16	2 ans.
	56	Edimbourg.	336,09	6 ans.
	54 $\frac{1}{2}$	Koenigsberg.	336,95	2 ans.
	53 $\frac{1}{2}$	Manchester	337,82	25 ans.
	52 $\frac{1}{2}$	Port Peter-Paul.	334,06	1 an.
	51 $\frac{1}{2}$	Londres.	337,33	7 ans.
	49	Paris	337,53	11 ans.
	46	La Rochelle	338,10	4 ans.
	45	Padoue.	337,87	15 ans.
	44 $\frac{1}{2}$	Bologne.	337,87	5 ans.
	44	Avignon.	337,80	10 ans.
	44	Nice.	336,50	20 ans.
	43 $\frac{1}{2}$	Marseille	337,27	10 ans.
	43 $\frac{1}{2}$	Florence	337,76	9 ans.
	41	Naples.	337,94	7 ans.
	39	Cagliari.	337,03	3 ans.
	38	Palerme	338,21	35 ans.
	36	Malte	336,79	Quelques mois.
	33	Tripoli.	340,19	Id.
	32	Madère.	339,20	2 ans.
	28 $\frac{1}{2}$	Ténériffe	338,77	3 ans.
28	Grand Canaria	339,09	Quelques mois.	
23	Macao.	338,23	1 an.	
33	La Havane.	336,99	3 ans.	
19	Saint-Thomas.	337,13	1 an.	
10	Cumana.	336,28		
9	Sierra-Leone.	336,10	Quelques observations.	
Sud.	10	Timor.	336,23	
	8	Ascension.	338,13	
	12 à 13	Pérou.	337,35	
	20	Ile de France.	338,92	
	23	Rio-Janeiro	337,59	1 an.
	33	Le Cap.	338,24	9 ans.
	5	Port Famine.	331,73	7 mois.

Ce tableau montre que la hauteur moyenne de la colonne barométrique, déduite de plusieurs années d'observations, varie très sensiblement à la surface des eaux tranquilles, ce qui est tout-à-fait en opposition avec la théorie; en le parcourant, nous remarquerons qu'à la Rochelle, ville située sur le bord de la mer, à l'occident du méridien de Paris, où la géodésie annonce une dépression, la moyenne barométrique surpasse de 0^{lig},6 ou de 0^m0013 celle de Paris; à Nice, sur la direction de la chaîne des Alpes, la moyenne est plus faible d'une ligne que celle de Marseille, de Florence et de Naples; à Paris et à Londres, où il n'existe pas de chaînes de montagnes, les hauteurs barométriques sont sensiblement égales; dans quelques îles éloignées des continents, à l'Ascension, l'Île de France, Madère, Ténériffe, grand Canaria, etc., les moyennes barométriques sont très fortes, elles atteignent 339,2 et 338,7; mais en se rapprochant des continents elles deviennent plus faibles: à Rio-Janeiro la hauteur du mercure n'est que de 337,6.

En combinant entre elles les hauteurs du tableau précédent, M. Schouw a déduit le suivant pour les points situés entre 45° de longitude orientale et 45° de longitude occidentale, comptés à partir du méridien de l'île de Fer, c'est-à-dire pour la région du globe principalement occupée par l'Atlantique.

LATITUDE.	HAUTEUR MOYENNE
	DU BAROMÈTRE.
Nord. 0°	^{lig.} 337,0
10	337,5
20	338,5
30	339,0
40	338,0
50	337,0
60	335,5
65	333,0
70	334,0
75	335,0

Ce tableau montre que les plus fortes moyennes barométriques se trouvent entre 20° et 40° de latitude nord, précisément à l'endroit de la plus grande largeur de l'Atlantique, et qu'elles vont ensuite en diminuant à mesure que l'on avance vers l'équateur et vers le pôle, où les terres se rapprochent sensiblement: à l'équateur, où la largeur de la mer est encore considérable, quoique très diminuée, la

moyenne barométrique est de 337^{us},0; mais vers le pôle, où les terres d'Amérique et d'Asie se touchent presque, la moyenne n'est plus que de 334^{us},0 ou 335^{us},0.

Plus d'un an après la lecture de ce Mémoire à l'Académie, et avant que les commissaires nommés par elle fissent leur rapport, M. Herman lui a présenté l'extrait d'un grand travail sur les différences de la pression atmosphérique à la surface des mers (1), dans lequel il a combiné 14,000 observations faites par lui au niveau même de l'Océan, et, par conséquent, dégagées de toute influence du relief du sol, sur une corvette russe, qui a traversé quatre fois, en suivant des méridiens différents, l'espace compris entre 55° de latitude N. et 58° de latitude S. Voici les résultats auxquels il est arrivé :

1° A partir de 60° de latitude S., et suivant le méridien, les moyennes pressions barométriques augmentent sensiblement jusqu'au 25° degré, limite méridionale des vents alizés. A partir de ce parallèle, elles décroissent régulièrement jusqu'à l'équateur, où elles atteignent un minimum relatif, puis elles augmentent de nouveau jusqu'à la limite boréale des vents alizés, 25° de latitude nord. Dans notre hémisphère, les phénomènes se reproduisent d'une manière symétrique, comme dans l'hémisphère opposé. La différence de pression entre l'équateur et les limites des vents alizés est de 40^{mm},06.

2° A partir du maximum de pression que l'on trouve à 25° de latitude, en se dirigeant vers le pôle, la diminution de pression est plus rapide que dans la zone des vents alizés; elle est telle, que les pressions moyennes, au Kamtschatka et au cap Horn, sont respectivement de 12^{mm},86 et 12^{mm},18, inférieures à la pression maximum du Grand Océan.

3° La pression moyenne de l'atmosphère est dépendante de la longitude : à latitude égale, elle est de 3^{mm},50 plus forte sur l'océan Atlantique que sur la mer Pacifique. Ce dernier résultat a été obtenu par la comparaison des observations faites sous vingt-quatre parallèles différents, en tenant compte de l'influence des saisons; et sur ces vingt-quatre comparaisons, aucune n'a affecté un résultat individuel d'un signe contraire à celui de leur moyenne.

4° Enfin, l'auteur s'est assuré que les mêmes relations subsistent pour l'air sec comme pour la totalité de l'atmosphère: seulement, la pression maximum, dans chaque hémisphère, est un peu plus reculée vers les pôles, et la différence entre ce maximum et le minimum équatorial est bien plus forte, puisqu'elle s'élève à 11^{mm},96. Par contre, la diminution de pression vers les pôles est bien moins rapide pour l'air sec que pour l'atmosphère totale.

Les résultats auxquels est parvenu M. Herman sont parfaitement d'accord avec ceux de M. Schouw : à l'équateur, où s'observe un minimum de pression, se trouvent aussi le minimum de largeur de l'Atlantique d'une part, et l'immense archipel de la mer du Sud de l'autre; aux 25° degrés de latitude N. et S. sont

(1) *Compt.-rendu des séances de l'Académie des sciences pour 1842*, n° 5, page 214.

les maxima de pression, comme ceux de largeur de l'Atlantique et du Grand Océan ; ensuite, du côté du nord, les terres se rapprochent de plus en plus, et les découvertes récentes annoncent qu'il existe des terres très étendues près du pôle sud. Enfin, quant à la différence de pression à latitude égale sur l'Atlantique et sur le Grand Océan, il faut remarquer que ce dernier est beaucoup moins profond que l'autre, comme le prouve cette immense quantité d'îles et de rescifs à fleur d'eau dont la surface est parsemée.

Il résulte donc de l'ensemble des nombreuses observations faites ou réunies par MM. Schouw et Herman, sur les mers et les continents, que les moyennes barométriques ramenées à la surface des eaux tranquilles sont d'autant plus fortes que l'on est plus éloigné des côtes, pour la mer, et des endroits où le sol présente des aspérités, pour les continents. D'après cela, il est probable que les inégalités de structure de notre planète exercent une action marquée sur la hauteur du baromètre en chaque lieu. Mais avant de pousser plus loin cette importante question, cherchons à découvrir les causes des perturbations de la verticale et les principales conséquences qui peuvent s'en déduire.

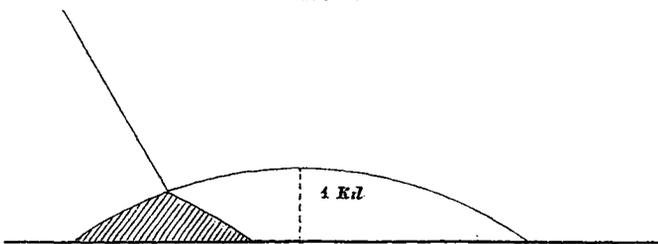
§ V.

Causes des variations de la direction de la verticale, et conséquences qui en résultent.

Pour découvrir les véritables causes des variations que présente la direction de la verticale en passant d'un point à un autre, cherchons quelle influence peut exercer sur cette direction la partie extérieure des chaînes de montagnes, que nous supposerons uniquement composée de basalte, la roche la plus dense de toutes celles connues (1).

Soit donc un ménisque de basalte dont la densité est 3, ayant un kilomètre de hauteur, et cherchons son action sur le pied d'une verticale, menée à un point très-éloigné du sommet. L'action de toute la portion du ménisque située

FIG. 1.



en dehors de la verticale, *fig. 1*, se trouve anéantie par celle d'une partie égale située du côté opposé, en sorte que la déviation ne peut être produite que par le prisme triangulaire restant.

Si on décompose ce prisme en bandes longitudinales et transversales par des plans verticaux, tellement disposés que les centres de gravité de chacun des prismes que l'on obtiendra ainsi soient à 1 kilom. de distance les uns des autres, l'action

(1) Dans cette recherche, j'ai été aidé des conseils du capitaine Hossard, mon camarade.

du prisme total sera $\frac{m}{d^2} (\cos 0 + 2 \cos^3 1 + 2 \cos^3 1' + 2 \cos^3 1'' + \text{etc.})$.

En désignant par m la masse d'un des prismes partiels, par d la distance de son centre de gravité au pied de la verticale, et par $0, 1, 1', \text{etc.}$, *fig. 2*, les angles d'inclinaison de la droite qui joint ce pied avec le centre de gravité de chaque prisme sur le plan suivant lequel la déviation a lieu, en prenant 5 pour la densité moyenne du globe, son action sur la verticale sera $5 \cdot \frac{4 \pi R^3}{3 R^2} = \frac{20 \pi R}{3}$ la tangente de

la déviation produite par le prisme sera donc

$$\frac{m}{d^2} \frac{(\cos 0 + 2 \cos^3 1 + 2 \cos^3 1' + 2 \cos^3 1'' + \text{etc.})}{\frac{20 \pi R}{3}}$$

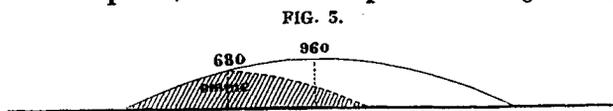
Après avoir calculé cette expression, en déterminant convenablement le volume de chaque prisme, et les angles $1, 1', 1''$ au moyen d'une figure géométrique, j'ai dressé le tableau suivant des différentielles de la déviation :

$\frac{5m}{20d^2 \pi R}$	cos. 0	2 cos. ³ 1	2 cos. ³ 1'	2 cos. ³ 1''	2 cos. ³ 1'''	2 cos. ³ 1''''	2 cos. ³ 1'''''	2 cos. ³ 1''''''	2 cos. ³ 1'''''''	2 cos. ³ 1''''''''	2 cos. ³ 1'''''''''
1 ^k	1''45	0''82	0''24	0''09	0''03						
2	0 70	0 98	0 52	0 22	0 11	0''07	0''04				
3	0 48	0 80	0 50	0 28	0 18	0 10	0 06				
4	0 36	0 64	0 48	0 26	0 20	0 14	0 07				
5	0 29	0 54	0 44	0 33	0 23	0 16	0 13	0''12	0''06		
6	0 24	0 44	0 39	0 32	0 25	0 20	0 15	0 11	0 08		
7	0 20	0 38	0 34	0 28	0 24	0 20	0 15	0 09	0 07		
8	0 18	0 34	0 32	0 29	0 25	0 21	0 17	0 14	0 10		
9	0 16	0 31	0 30	0 24	0 23	0 20	0 15	0 13	0 11	0''5	
10	0 14	0 27	0 26	0 24	0 21	0 19	0 16	0 14	0 12	0 6	
11	0 12	0 22	0 22	0 20	0 19	0 16	0 15	0 14	0 11	0 9	
12	0 10	0 19	0 19	0 18	0 16	0 14	0 13	0 11	0 09	0 7	
13	0 08	0 15	0 15	0 14	0 13	0 12	0 11	0 09	0 07		
14	0 07	0 13	0 13	0 13	0 12	0 10	0 10	0 09	0 07		
15	0 06	0 11	0 11	0 11	0 10	0 09	0 09	0 07			
16	0 05	0 09	0 09	0 09	0 08	0 07					
	4''68	+6''41	+4''68	+3''40	+2''71	+2''16	+1''66	+1''23	+0''88	+0''27	=28'',08 ^{centésimales.}

Il résulte de là que l'influence sur le pied de la verticale de 1 kilomètre cube de basalte devient tout-à-fait insensible à 16 kilom. de distance; que celle

d'un prisme triangulaire de 16 kilom. de base, et de 1 kilom. de hauteur, est seulement de $28''08$ centésimales ou $9''$ sexagésimales.

Pour appliquer à la chaîne des Alpes les résultats précédents, je ferai remarquer que, dans ces montagnes, le plus grand nombre des sommets et des crêtes se trouve au-dessous de la limite des neiges perpétuelles (2634^m). Le niveau du lac Léman, qui occupe la dépression entre les Alpes et le Jura, est à 2268^m au-dessous de la limite des neiges. On peut donc prendre 2 kilom. pour la hauteur moyenne des sommets des Alpes au-dessus du lac Léman. Dans cette chaîne, la somme des vides, c'est-à-dire l'espace occupé par les vallées, est au moins égale à celle des pleins ou l'espace occupé par les reliefs (1), ce qui donne 1 kilom. pour la hauteur du ménisque que l'on obtiendrait en jetant dans les vallées la matière des montagnes, jusqu'à ce que l'on fût arrivé à une surface horizontale. Mais comme, vers le centre de la chaîne, le fond des vallées s'élève jusqu'à 700^m au-dessus du lac Léman, et pour prévenir toute objection, nous supposerons au ménisque une hauteur de $1^k,5$. C'est l'influence seule de ce ménisque, qui dévie sensiblement la verticale; celle du ménisque provenant de la déformation de la surface de niveau par suite de la production de la chaîne est insensible. En effet, la plus grande déviation observée dans la sphère d'activité des Alpes est de $28''$ (page 10). Ce nombre est en même temps l'angle que les deux tangentes aux courbes de niveau tracées sur la surface normale et sur la surface déformée font entre elles, ce qui donne $0^{kil}0067$ pour la hauteur du ménisque compris entre ces surfaces, en supposant à la chaîne une largeur de 100^{kil} , et par suite $9'' (0,0067) = 0'',06$ pour la déviation produite par le ménisque; car l'attraction de prismes de même base et de même matière varie comme la hauteur. Le maximum de déviation de la masse entière des Alpes serait donc $9'' (1.5) = 13'',5$, en supposant cette masse toute formée de basalte, ce qui donne un nombre certainement trop grand. Maintenant, à Andrate, au pied oriental de ces montagnes, la déviation a été trouvée de $28''$, et de $8'',5$ au mont Cenis, presque sur le sommet du ménisque, où elle devrait être insensible (2). La latitude géodésique de Parme, déduite de celle de Milan, diffère de $20'',4$ de celle donnée par l'astronomie, et ces deux villes sont situées dans une plaine, l'une à 30 kilom. du pied des Alpes, l'autre à 16 kilom. de celui des Apennins, distance à laquelle l'influence de la partie extérieure des montagnes est négligeable. Enfin, à Ommes, sur le versant oriental de la chaîne de l'Auvergne, la latitude astronomique surpasse de $9''$ celle de la géodésie (pag. 4), et en ce point, la hauteur du prisme triangulaire, qui se détermine facilement par



les différences de niveau (fig. 3), est de 280 mètres seulement; ce qui donne $(0,28) 9'' =$

(1) Ce qui peut parfaitement se voir sur une carte topographique.

(2) L'observatoire du mont Cenis est à $1,700^m$ au-dessus du lac Léman.

2",5 pour la déviation, en supposant tout le prisme formé de basalte, tandis qu'il est réellement formé, en grande partie, de granite et de calcaire au milieu desquels le basalte s'est injecté.

Les déviations de la verticale, constatées sur un grand nombre de points de la surface terrestre, ne peuvent donc pas être attribuées uniquement à la partie extérieure des montagnes, ainsi que l'avaient déjà présumé MM. Plana et Carlini, Puissant et de Beaumont; elles dépendent nécessairement de la structure intérieure du globe, et leur marche exige que, dans les bombements, la densité de la matière ait considérablement augmenté, et qu'elle ait diminué dans les dépressions.

Dans son *Mémoire sur les révolutions du globe* (pag. 273, note 2), M. de Beaumont a discuté les diverses déviations du fil à plomb constatées en un grand nombre de points de l'Italie, du Piémont, de la Suisse et de l'Allemagne. Il remarque que le zénith d'Andrate, située au nord du mont Rose, est déplacé par l'attraction de cette montagne sur le pied de la verticale de 28" vers le sud, tandis que celle de Mondovi, éprouvant de la part des Alpes maritimes, situées au sud de cette ville, une action diamétralement opposée, le zénith se trouve rejeté de 19",4 vers le nord. Turin étant placé plus près d'Andrate que de Mondovi, et l'action exercée par le mont Rose étant plus forte, le zénith de Turin se trouve légèrement déplacé dans le même sens que celui d'Andrate; l'observatoire du mont Cenis, situé à peu de distance du méridien du Mont-Blanc, a lui-même son zénith déplacé vers le sud d'une quantité plus grande que celui de Turin; les observatoires de Milan, de Vérone, de Venise (page 10), situés à des distances variables du pied méridional de la chaîne principale des Alpes, ont aussi leur zénith déplacé vers le sud de quantités plus ou moins grandes. Au contraire, les observatoires de Munich, de Vienne, situés au nord de la même chaîne, ont leur zénith déplacé vers le nord. La même action se manifeste d'une manière analogue à Inspruck; à Genève, où la déviation est encore dans le même sens, elle se trouve être très faible, par suite peut-être de l'action du Jura, dont une des principales cimes, la Dôle, est située presque exactement au nord. Cette influence d'une chaîne différente des Alpes se manifeste d'une manière bien sensible à Wells, entre Vienne et Munich; le zénith de Wells se trouve fortement déplacé vers le sud, mais aussi cette ville est bâtie au pied sud du Böhmerwald-Gebirge, qui agit fortement sur le pied de sa verticale. M. de Beaumont ne croit pas que cette action des montagnes sur le fil à plomb soit due en totalité à la portion de leur masse qui s'élève au-dessus de l'horizon : « Il est » beaucoup plus vraisemblable, dit-il, qu'elle dérive, en partie, d'irrégularités » dans la structure intérieure du globe, qui peut-être sont elles-mêmes en rap- » port avec les mouvements intestins qui ont donné lieu à l'élévation des mon- » tagnes. »

Il est donc parfaitement constaté que les montagnes exercent une action mar-

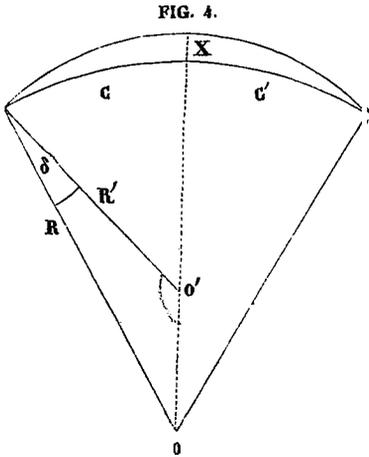
quée sur la direction du fil à plomb, dont elles attirent le pied, d'où résulte le déplacement, en sens contraire du zénith, des points situés dans leur voisinage. Nous avons démontré § 2 que, dans les régions occupées par les chaînes de montagnes, la surface avait dû être écartée du centre du globe; et, pour que le fil à plomb se trouve plus fortement attiré vers les lignes de dislocations qui se sont produites dans cette action, il faut absolument que la masse solide y soit devenue plus considérable qu'elle n'était auparavant.

Mais il résulte du calcul, page 22, que la partie intérieure des masses montagneuses est tout-à-fait insuffisante pour rendre compte du phénomène; il est donc nécessaire qu'au-dessous la densité soit beaucoup plus considérable que partout ailleurs. Laplace a démontré que la densité du globe allait en croissant de la surface au centre, et des observations du pendule faites en Angleterre, dans les lieux profonds, ont confirmé ce résultat. C'est, du reste, un fait dont il est très facile de se rendre compte: les expériences de Cavendish et de quelques autres physiciens ont démontré que la densité moyenne du globe est à peu près 5,50; la moyenne de celles des matières qui composent la surface, en y comprenant le spath-fluor, la barytine et le piroxène, qui ont des densités de 3,2, de 3 et de 4,4, n'est que de 2,9; il est donc de toute nécessité que la densité croisse avec les profondeurs pour que la densité moyenne soit 5,5. La grande augmentation de densité sous les chaînes exige donc que là, des matières soient montées du centre vers la surface: effectivement, dans l'intérieur des chaînes de montagnes, il existe une quantité de roches plutoniques, granites, porphyres, serpentines, diorites, que les géologues admettent être venues de l'intérieur de la terre, et dont les densités sont plus fortes que celles des couches d'origine aqueuse à travers lesquelles elles ont été lancées. Dans les intervalles qui séparent les chaînes les unes des autres, où la convergence des verticales est diminuée, il a fallu, par les mêmes raisons, que la matière fût descendue de la surface vers le centre. La production de ce double effet exige nécessairement que l'intérieur du globe ait été à l'état fluide; ainsi donc, par le seul moyen des observations géodésiques et astronomiques, on peut arriver à démontrer la fluidité intérieure de la terre aux différentes époques de formation de chaînes de montagnes.

Il résulte clairement de ce qui précède que les chaînes de montagnes et leur base, loin de présenter de vastes cavités, comme Bouguer l'avait avancé, et plusieurs géologues et géographes l'ont répété après lui, présentent au contraire une plus grande accumulation de matières que les autres points du globe. L'erreur de Bouguer vient de ce qu'il attribuait au globe une densité beaucoup trop considérable, 7 à 8 fois plus grande que celle de la surface, dont elle n'est réellement que le double. Il est donc bien constaté que, dans les altérations que la surface du globe a éprouvées, la matière s'est accumulée sur les points où il s'est produit des bombements, et qu'elle a dû diminuer au-dessous des parties

qui se sont affaissées. Quand la matière ascendante a trouvé des ouvertures, des crevasses, une partie s'est répandue au-dehors; mais dans le cas contraire elle est toute restée condensée sous les bombements.

Les bombements comme les dépressions, c'est-à-dire les déformations de la surface de niveau générale, sont très peu de chose comparativement aux dimensions du globe terrestre; c'est ce dont on peut s'assurer par un calcul très



simple. En jetant les yeux sur la figure 4, on verra facilement qu'en nommant x la flèche positive ou négative de la déformation, $2C$ l'amplitude de l'arc mesuré, δ la déviation de la verticale aux extrémités, ce qui donne $\pm 2\delta$ pour la différence entre l'arc géodésique et l'arc astronomique, et R le rayon de la terre, on aura

$$x = R \frac{\sin. C + \sin. \delta}{\sin. (C + \delta)} - R = R \left\{ \frac{\sin. C + \sin. \delta - \sin. (C + \delta)}{\sin. (C + \delta)} \right\};$$

d'où l'on tire, en développant en séries et multipliant par $\sin 1''$ pour réduire les arcs en partie du rayon :

$$x = RC\delta \left\{ 1 - \frac{(C + \delta)^2}{3} \right\} (\sin. 1'')^2.$$

En nous servant de cette formule (1), nous avons calculé les flèches de tous les ménisques de déformations positives ou négatives, pour tous les arcs du parallèle moyen et de la méridienne de Paris, aux extrémités desquels on a à la fois des observations géodésiques et astronomiques, et les résultats de ce calcul sont réunis dans les deux tableaux que voici :

(1) Nous avons été aidé par notre camarade Hossard dans la recherche de cette formule.

PARALLÈLE MOYEN.				MÉRIDIENNE DE PARIS.			
NOMS DES POINTS.	2 C en ^m et en 4''.	2 δ	HAUTEUR des MÉNISQUES.	NOMS DES POINTS.	2 C	2 δ	HAUTEUR des MÉNISQUES.
Marennés.	74407 ^m	- 6''6	-0 ^m 72	Greenwich.	49198 ^m	- 6''	-0 ^m 33
Saint-Preuil.	3435''			Dunkerque.	1591''		
Saint-Preuil	124182 ^m	+ 3''	+0 56	Dunkerque.	243520 ^m		
Sauvagnac	5745''			Panthéon.	7879''		
Sauvagnac	133345 ^m	+ 3''	+0 57	Panthéon.	296852 ^m		
Ysson.	7405''			Evauz	9607''		
Ysson.	202427 ^m	-22''	-7 24	Evauz.	329114 ^m	+ 9''2	+3 ^m 46
Mont Colombier	9345''			Carcassonne	10668''		
Mont Colombier	92215 ^m	- 5''	-0 69	Carcassonne.	203623 ^m	- 1''0	-0 ^m 23
Mont Cenis.	4260''			Montjoui	6667''		
Mont Cenis.	175160 ^m	+11''	+2 47	Montjoui	299509 ^m	- 6''0	-2 ^m 05
Milan.	6750''			Formentera.	9710''		
Milan.	209256 ^m	+ 2''3	+0 75				
Padoue.	9675''						
Padoue.	199551 ^m	-26''	-8 64				
Fiume.	9210''						

Ces tableaux nous montrent que la plus grande partie des ménisques de déformation, en France, dépasse peu $\frac{1}{1000000}$ du rayon terrestre, qui est de 6367334^m, et qu'en général elles n'atteignent pas la $\frac{1}{6000000}$ partie de ce rayon. En opérant de la même manière sur les autres lignes géodésiques où l'on a à la fois des observations géodésiques et astronomiques, on arriverait à des résultats semblables, puisque les déviations observées dans la direction de la verticale ne sont pas plus fortes que celles que nous venons de considérer. Nous avons tracé dans la planche 1 les deux courbes de déformation données par les tableaux précédents; en jetant les yeux dessus, on verra qu'elles diffèrent très peu de l'arc ellipsoïdal. Comme une de nos lignes traverse la chaîne des Alpes, une des plus considérables du monde, il est probable que dans aucune partie du globe les déviations de la verticale ne sont beaucoup plus considérables que les plus fortes de notre tableau; d'où il résulte que nulle part les flèches des ménisques de déformation ne seront notablement plus grandes que celles que nous avons calculées.

De tout ce qui précède on peut conclure que le globe, pris en masse, est assez rigoureusement comparable à un ellipsoïde de révolution dont l'aplatissement serait

celui donné par la théorie des inégalités lunaires; mais que cette comparaison est loin d'être aussi exacte qu'on l'a généralement cru jusqu'à présent! La surface présente une série d'élévations et de dépressions peu considérables, mais qui correspondent à des inégalités sensibles dans la structure intérieure, qui, agissant sur le pied des verticales en passant d'un lieu à un autre, produisent les anomalies que l'on observe entre les résultats géodésiques et astronomiques, dans la marche du pendule et aussi dans celle du baromètre, comme nous le prouverons plus bas. D'après cela, il est évident que la surface des mers doit présenter des irrégularités comme celle des continents, puisque l'élément de cette surface en chaque point est un plan perpendiculaire à la verticale; il en est absolument de même des couches de niveau de l'atmosphère jusqu'à la hauteur où les inégalités de la structure du globe peuvent exercer leur influence.

Nous venons de démontrer, par le calcul, que la flèche des ménisques de déformation pouvait atteindre 8^m; il doit donc exister sur la mer en repos des points placés à 8^m de différence de hauteur. Ainsi, quand on part du niveau de la mer pour calculer les hauteurs des montagnes, on peut trouver des différences allant jusqu'à 8^m, si l'on rapporte les observations à deux points de départ situés à une certaine distance l'un de l'autre. Pour éviter cette erreur, il faudrait tenir compte de la hauteur des ménisques de déformation, qu'il sera toujours possible de calculer quand on connaîtra la déviation de la verticale. Sur la direction des chaînes de montagnes, la mer est notablement plus élevée que devant les intervalles qui séparent les chaînes les unes des autres. Les différences que l'on a trouvées dans les travaux géodésiques de la carte de France, sur les altitudes d'un même réseau trigonométrique, qui aboutit à deux mers ou à deux points de la même côte très éloignés l'un de l'autre, peuvent donc être plutôt attribuées aux inégalités de structure de la surface terrestre qu'aux erreurs d'observation, qui ne sont jamais notables et se compensent presque toujours.

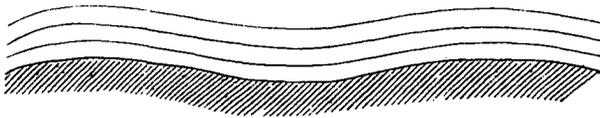
Les aspérités de la surface des mers ne peuvent donc plus être révoquées en doute. Maintenant, l'ellipsoïde de révolution à $\frac{1}{509}$ d'aplatissement, osculateur à la surface de la terre à Paris, touchant le niveau moyen de la mer à Brest, auquel sont rapportés tous les points de la carte de France, coupe évidemment la surface des mers, qu'il laisse tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la sienne. Il existe donc des portions fort étendues des continents qui sont au-dessous de la mer, sans que pour cela elles soient envahies par les eaux; ce qui est dû à la gravitation qui les retient dans la position qu'elles occupent. Mais si, par une cause quelconque, la gravitation venait à éprouver des variations notables sur quelques points du globe, les eaux engloutiraient certaines parties des continents; et comme les faits géologiques prouvent que de semblables variations ont dû avoir lieu à diverses époques, on a ainsi l'explication d'une foule de phénomènes: les retours successifs de la mer dans certains bassins tertiaires, les

plages couvertes de coquilles marines qui se trouvent maintenant à une grande distance de l'Océan, etc.

Puisque les flèches des ménisques de déformation dépassent à peine la millionième partie du rayon terrestre, elles ne peuvent avoir par elles-mêmes aucune influence sensible sur la variation de la pesanteur à la surface de la terre. La véritable cause de cette variation est donc l'augmentation considérable de densité dans les régions occupées par les chaînes de montagnes, provenant de ce que, dans les déformations, une partie de la matière fluide intérieure est montée vers la surface; c'est le résultat de l'action perturbatrice de masses très denses logées dans les bombements. Les anomalies observées dans la direction de la verticale, changeant de valeur et même de signes dans de très petits espaces, entre Marennes et la Ferlandrie, distance de 30,000^m seulement; entre Omme et Montceaux; entre Montceaux et le mont Colombier, éloignés seulement de 44,000^m; entre le mont Colombier et le mont Cenis; entre le mont Cenis et Andrate, l'un sur le sommet et l'autre au pied des Alpes; entre Andraté et Mondovi, deux points éloignés de 25 lieues seulement, où, à l'un, le pied de la verticale est dévié de 28" vers le nord, tandis qu'à l'autre il est dévié au contraire de 20" vers le sud, etc., etc., prouvent évidemment que les masses perturbantes sont très voisines de la surface; car, si elles étaient à une certaine profondeur dans l'intérieur du globe, leur influence se ferait sentir sur une grande étendue, et on n'observerait de variation sensible dans la direction de la verticale qu'après avoir parcouru un grand espace, plusieurs degrés. Cela posé, revenons aux variations singulières que présentent la hauteur de la colonne barométrique et la marche du pendule, ramenées toutes les deux à la surface des eaux tranquilles et débarrassées de toutes les causes d'erreurs connues. § 3 et § 4.

L'atmosphère supposée en repos, attirée vers le centre de la terre, se disposera autour de sa surface par couches de niveau infiniment minces, bombées sur les

FIG. 5.



bombements et déprimées sur les dépressions, fig. 5, et cet effet se continuera en s'élevant jusqu'à ce que, par l'éloignement,

l'influence des masses perturbatrices devenant insensible, les couches de niveau deviennent ellipsoïdales. La pression qu'éprouve une surface de niveau étant rigoureusement la même dans tous ses points, une molécule matérielle éprouvera de la part de l'atmosphère, supposée en équilibre autour de la terre, la même pression, en quelque point qu'elle se trouve placée de la surface des eaux tranquilles, bien que la hauteur de l'atmosphère ne soit pas rigoureusement la même au-dessus des bombements qu'au-dessus des dépressions; mais les masses très denses, logées dans les premiers, exercent une forte action sur les corps placés à la surface; au-dessus d'eux, le mercure pèse davantage qu'au-dessus des dépressions, et cette augmentation de pesanteur doit déterminer un abaisse-

ment dans la colonne de mercure, qui fait toujours équilibre à la pression de l'atmosphère : soumettons ces effets au calcul.

Nous avons déjà dit que l'augmentation ou la diminution de longueur du rayon de la terre, dans les bombements et les dépressions, n'avait aucune influence sensible sur les variations de la pesanteur à la surface de la terre; celle-ci ne peut donc être notablement affectée que par les masses très denses logées dans les bombements. Soit m une de ces masses, r la distance de son centre de gravité à la surface bosselée de la terre, M la masse de celle-ci, R son rayon moyen et P la hauteur de la colonne barométrique, sous la double influence de la pression de l'atmosphère et de l'attraction vers le centre de la terre. Au-dessus de la masse m cette hauteur deviendra

$$P - \frac{mR^2}{Mr^2} P;$$

et pour que l'abaissement soit de $0^m,001$, il faudrait avoir $\frac{m R^2}{M r^2} P = 1^m$, faisant $P = 0^m,760$, $R = 6,000,000^m$ et $r = 2,000^m$, en prenant la densité moyenne de la terre pour unité, nous aurons alors $M = 904760000000$ kilom. cubes, et en substituant dans l'équation précédente

$$\frac{m}{904760000000} \cdot \frac{(6000000)^2}{(2000)^2} (760) = 1;$$

d'où l'on tire

$$m = \frac{90476}{684} = 132 \text{ kilomètres cubes.}$$

Si l'on suppose à la masse m une densité double de celle de la terre, 10 environ, on aura $m = 76$ kilom. cubes, et si cette masse occupe un myriamètre carré, son épaisseur sera exactement de 760^m .

Par exemple, si l'on suppose qu'une masse métallique placée sous le Cantal, dont la base peut s'inscrire dans un carré de 5 myriam. de côté, ait produit le bombement de cette montagne, il suffirait que cette masse eût 31^m d'épaisseur pour déterminer dans la colonne de mercure un abaissement de $0^m,001$, en la supposant concentrée à son centre de gravité, il est vrai.

Mais l'augmentation de poids se fait en même temps sur le mercure et sur l'air; il faut donc démontrer que l'effet total produit sur le dernier n'est qu'une fraction de celui produit sur le premier, en sorte qu'il y a réellement un abaissement sensible dans la hauteur du mercure.

Si nous concevons l'atmosphère divisée en couches de 500^m d'épaisseur, terminées par des surfaces de niveau depuis la surface de la terre jusqu'au point où cesse l'influence de la masse perturbatrice, on obtiendra les trois séries suivantes en prenant $0^m,760$ pour la hauteur du mercure à la surface de la terre,

Pressions.	Pression pour chaque couche.	Hauteurs au-dessus du sol.
311 ^m		7000 ^m .
	. 22	
333		6500
	. 23	
356		6000
	. 24	
380		5500
	. 25	
405		5000
	. 26	
431		4500
	. 28	
459		4000
	. 30	
489		3500
	. 32	
521		3000
	. 34	
555		2500
	. 36	
591		2000
	. 38	
629		1500
	. 41	
670		1000
	. 44	
714		500
	. 46	
760		0
	. 2000 ^m	

dont celle de droite représenté les hauteurs des surfaces supérieures des couches au-dessus du sol; celle de gauche, les hauteurs correspondantes de la colonne barométrique, et celle du milieu, les pressions en millimètres de mercure de chaque couche comprise entre deux surfaces de niveau successives.

L'effet produit par la masse m , dont nous supposons le centre d'action à 2000^m au-dessous de la surface de la terre, à une hauteur h dans l'atmosphère sur un millimètre de mercure, sera $\frac{(2000)^2}{h^2} \cdot \frac{1}{760}$. En effectuant le calcul pour chaque couche de 500^m, dont les pressions diminuent à mesure que l'on s'élève, et sont représentées par les nombres de la colonne du milieu en millimètres de mercure, et supposant que la pression est prise au milieu de la couche où la

densité est moyenne, on obtient la série suivante pour l'effet produit sur la colonne d'air jusqu'au point où cesse l'influence de la masse perturbatrice.

HAUTEURS AU-DESSUS DU SOL.	DÉPRESSIONS DE L'AIR.
500	0 ^{mm} 0478
1000	0306
1500	0204
2000	0142
2500	0105
3000	0079
3500	0061
4000	0048
4500	0038
5000	0030
5500	0025
6000	0021
6500	0018
7000	0015
7500	0013
8000	0011
8500	0009
9000	0008
9500	0007
10000	0006
10500	0005
11000	0004
11500	0003
12000	0002
12500	0001
13000	0 ^{mm} 0000
Effet total. . . .	0 ^{mm} 1639
Complément. . .	0 ^{mm} 8361

Il résulte de là, 1° que l'influence de la masse perturbatrice qui produirait l'abaissement de 0^{mm}001 dans la hauteur du mercure à la surface de la terre, cesse d'être sensible à une hauteur de 13,000^m, dans l'atmosphère, puisque là elle se trouve réduite à des cent millièmes de millimètre. En supposant que l'action continuât à être de 0^{mm}0001 jusqu'à 60,000^m, hauteur supérieure de l'atmosphère, ce qui est exagéré, puisqu'elle va toujours en décroissant à mesure que l'on s'élève, la somme des 94 couches restantes ne produit pas 0^{mm}001.

2° Que l'effet total produit sur la colonne d'air n'est que de. . . 0^{mm}1639
d'où il reste pour l'abaissement du mercure. 0 8361
1^{mm}0000

Ainsi donc, en promenant le baromètre sur une surface de niveau, entre 0^m de

hauteur, et 13,000^m dans l'atmosphère, quand cette masse fluide serait parfaitement en équilibre autour de la terre, on observerait des variations sensibles dans la hauteur de la colonne de mercure : elle s'allongerait dans les dépressions de la surface et se raccourcirait sur les bombements, ce qui est parfaitement d'accord avec les observations (§ 4). Maintenant, que la totalité de l'effet produit soit due à l'influence des masses métalliques logées dans les bombements, cela n'est pas probable : nous avons supposé l'atmosphère en équilibre et en repos autour de la terre, et elle est, au contraire, mise en mouvement par une foule de causes qui déterminent des courants constants, comme entre les tropiques, les crêtes des montagnes et les vallées, etc.; de là résultent des renflements et des abaissements dans la partie supérieure de l'atmosphère qui influent notablement sur la moyenne barométrique, comme M. Herman l'a constaté pour la région des vents alizés. Mais il ne reste pas moins parfaitement démontré que les masses métalliques logées près de la surface des eaux tranquilles qui produisent les inégalités de cette surface et les aberrations dans la direction de la verticale, influent sur les moyennes barométriques. Mathématiquement parlant, deux baromètres placés à une certaine distance l'un de l'autre, à Paris et au Havre, à Lyon et au mont Cenis, etc., quelque identiques qu'ils puissent être, ne sont donc pas des instruments comparables; le même baromètre, transporté d'un lieu à un autre, donne des résultats qui ne sont pas rigoureusement comparables entre eux.

L'ensemble des observations du pendule réunies dans le tableau du § 3 montre que le pendule avance généralement dans les îles éloignées des continents et dans les grandes plaines, et qu'il retarde lorsque l'on s'approche des côtes et dans le voisinage des chaînes de montagnes. Le relief de ces chaînes aurait-il donc une influence sensible sur la marche du pendule observé à leur pied? Poisson a dit dans son *Traité de mécanique*, t. I, p. 491 : « A la surface de la terre, la variation de la pesanteur, provenant de celle de l'attraction et de la force centrifuge, » suit la même loi qu'à une distance quelconque du centre, c'est-à-dire qu'elle » est proportionnelle au carré du cosinus de la latitude. Mais pour vérifier cette » loi par les mesures du pendule à secondes, il faut que les oscillations ne soient » pas mesurées près d'une montagne; car en même temps que la composante ho- » rizontale de l'attraction écarte le pendule de la verticale dans sa position d'é- » quilibre, la composante verticale de cette force diminue la pesanteur et consé- » quemment la longueur du pendule simple. En évitant cette cause d'anomalie, » on trouve encore qu'en certains lieux la longueur du pendule à secondes s'é- » carte de la loi de variation donnée par la théorie; ce que l'on doit attribuer à » ce que, en ces lieux, la densité du terrain dans une étendue et une profondeur » considérables est plus grande ou plus petite que la densité générale de la » couche superficielle, d'où il résulte une augmentation ou une diminution de la » pesanteur totale, et par conséquent de la longueur du pendule simple, qui est

» proportionnelle à son intensité. Le pendule est donc aussi un instrument de géologie, qui annonce, par ses anomalies, des variations d'une grande étendue dans la nature du sol. »

Cherchons donc si la partie extérieure des chaînes de montagnes, dont nous connaissons l'action sur la direction de la verticale, exerce une influence appréciable sur la marche du pendule.

Il est démontré en mécanique que si n et n' désignent les nombres d'oscillations du même pendule dans un temps donné en deux localités différentes, g et g' les intensités de la pesanteur en ces mêmes lieux, on aura $n^2 : n'^2 :: g : g'$; d'où l'on peut conclure qu'en général $n^2 = mg$ (a), m étant un coefficient constant indéterminé. En différentiant cette équation, on aura pour la variation de n , correspondante à celle de g , $dn = \frac{m}{2n} dg$, et en mettant pour m sa valeur tirée de l'équation (a)

$$dn = \frac{n}{2} \cdot \frac{dg}{g} \quad (b).$$

Soit o le centre d'action d'une montagne qui, par son influence horizontale, amène la verticale AB dans la position AB' , et soit l'angle $BAB' = \delta$, r la distance du point d'observation au centre d'action de la montagne, h la hauteur de ce centre au-dessus du plan horizontal passant par le point B' , on aura assez exactement, en représentant g par AB , $\frac{BB'}{g} = \text{tang. } \delta$; alors dg sera évidemment représenté par CB , et on aura sensiblement

FIG. 6.

$$\frac{dg}{CB'} = \frac{h}{r}, \quad \text{d'où, en multipliant ces deux équations}$$

$$\frac{dg}{g} = \frac{h}{r} \text{ tang. } \delta, \quad \text{et en substituant, il viendra}$$

$$dn = \frac{nh}{2r} \text{ tang. } \delta \quad (c);$$

formule qui donnera la variation dans le nombre d'oscillations du pendule, quand on connaîtra la position du centre d'action de la montagne par rapport au point de station et l'angle de déviation de la verticale.

Appliquons cette formule à la chaîne du Puy-de-Dôme, au pied de laquelle MM. Biot et Mathieu ont constaté un retard de $2''{,}09$ pour un jour moyen solaire dans la marche du pendule, observée sur le pavé d'une des salles de la préfecture de Clermont. Le sommet de la chaîne du Puy-de-Dôme, située à l'ouest du point d'observation, est à 600^m au-dessus du plan horizontal passant par ce point,

et à 9 kilomètres de distance horizontale; nous avons déjà dit que cette chaîne déviait la verticale de 9". Supposons que cette déviation soit toute produite par la partie extérieure de la montagne, ce qui est loin d'être vrai, comme il est démontré § 5, nous aurons pour Clermont $\delta = 9''$, $r = 9000^m$ et $h = 300^m$, en supposant le centre d'action de la montagne à 300^m au-dessus du plan horizontal passant par le point de station, ce qui est certainement exagéré. Pour un jour moyen solaire $n = 86400$, substituant dans l'équation c il viendra

$$dn = 43200 \frac{300}{9000} \text{ tang. } 9'' = \frac{43200}{30} \text{ tang. } 9'' = 0,062.$$

Pour la chaîne des Alpes, qui domine Andrate, en supposant encore tout l'effet produit par la partie extérieure des montagnes, on aura $\delta = 28''$; si l'on fait $h = 500^m$, $r = 10,000^m$, le même calcul donne $dn = 0,29$.

La partie extérieure des chaînes de montagnes ne peut donc avoir aucune influence sensible pour retarder la marche du pendule, ce qui est contraire à l'opinion de Poisson; mais il est parfaitement constaté, § 3, que le pendule retarde au pied de plusieurs chaînes de montagnes, et aussi sur un grand nombre de points où le sol est plat ou ne présente que des ondulations légères: Paris, Dunkerque, Londres, Bordeaux, etc. Cet effet doit donc tenir à une cause intérieure, par exemple à une diminution de densité du sol sur lequel on opère, comparativement à la densité générale de la croûte du globe.

En 1824, M. Carlini a observé le pendule au sommet du mont Cenis, à 1900^m au-dessus du niveau de la mer, et la longueur réduite à ce niveau s'est trouvée de. 993^m,708

la longueur du pendule observée à Bordeaux par M. B. Biot, réduite à la latitude du mont Cenis, est de. 993, 498

la différence en plus de. 0, 210

a été attribuée par M. Carlini à l'action de la montagne, dont il supposait la densité moyenne de 2,66 seulement, d'après la nature des roches qui la constituent (1). Cette différence est les $\frac{2}{9935}$ de la longueur du pendule à Bordeaux. En prenant 3 pour la densité moyenne du mont Cenis, ou environ les $\frac{5}{5}$ de celle du globe, et supposant que le pendule a été observé à 2000^m au-dessus de la mer, ou à peu près $\frac{2}{6000}$ du moyen rayon terrestre, on aura pour le maximum d'action de la montagne $\frac{2}{6000} \cdot \frac{5}{5} = \frac{2}{10,000}$. L'effet observé ne peut donc pas être uniquement attribué à la partie extérieure de la montagne; il faut qu'au-dessous la densité soit plus forte que la densité moyenne de la croûte du globe, résultat auquel nous avons déjà été conduit par la considération de la déviation des verticales.

Il paraît que M. Carlini est, jusqu'à présent, le seul physicien qui ait observé

(1) *Éléments de physique*, par M. Pouillet, t. I, page 116, 2^e édition.

le pendule sur le sommet d'une montagne. Il serait important de faire de même sur un grand nombre de points du globe, afin de confirmer complètement le résultat déduit de la déviation des verticales : *qu'au-dessous des chaînes de montagnes la densité de la croûte du globe est notablement plus considérable qu'ailleurs.*

Le tableau du § 3 montre, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que sur les îles éloignées des continents le nombre d'oscillations du pendule, dans un jour moyen solaire, augmente notablement; or, ces îles sont des plateaux ou des crêtes de montagnes sous-marines, au-dessous desquelles doivent se trouver des matières très denses, comme sur les continents, qui augmentent l'action de la pesanteur et accélèrent par conséquent la marche du pendule. Il est bon de remarquer aussi que la plupart de ces îles sont couvertes de déjections volcaniques; ce qui annonce qu'au-dessous d'elles des matières sont montées de l'intérieur de la terre vers la surface : elles sont posées sur des bombements.

Il a été parfaitement démontré, dans le commencement de ce paragraphe, que dans les bombements la densité devait être plus considérable que non seulement celle de la surface, mais encore que la densité moyenne du globe, tandis que dans les dépressions elle doit être au contraire plus petite; il résulte évidemment de là que sur les bombements le pendule doit avancer, et qu'il doit retarder dans les dépressions. Les variations de la marche de cet instrument tiennent principalement à des causes intérieures, à des variations de densité dans la croûte solide du globe au-dessous de la surface des eaux tranquilles.

Dans tous les points voisins de la trace du méridien de Paris où le pendule a été observé, à Londres, Dunkerque, Paris, Clermont, Bordeaux, Figeac, etc., il retarde sensiblement; ce qui annonce que cette ligne est moins bombée que ne le veut la théorie, et s'accorde assez bien avec les calculs de Puissant, qui donnent un aplatissement presque nul pour la partie occidentale de la France, § 1. Si des observations géodésiques et astronomiques, qui n'ont été faites ensemble qu'à Dunkerque, Évaux, Carcassonne et Montjoux, avaient été exécutées sur un plus grand nombre de points, leur ensemble conduirait probablement au même résultat, tandis que, en calculant d'après celles que nous possédons, on trouve le méridien de Paris un peu plus courbé que l'arc de l'ellipsoïde; à $\frac{1}{509}$ d'aplatissement, le tableau, page 27, donne $+ 0^m,7$ pour la flèche du ménisque moyen.

Dans un Mémoire lu à l'Académie des sciences en décembre 1827, où M. Biot a combiné ensemble un grand nombre d'observations du pendule, il a donné celles faites par lui dans le voisinage du parallèle au 45° degré, qui, ramenées à cette latitude, donnent les longueurs suivantes pour le pendule à secondes dans le vide et au niveau de la mer.

A Bordeaux.	993 ^{mm} ,4653
Figeac.	4878
Clermont-Ferrand.	5218
Mont Cenis.	7080 M. Carlini.
Milan.	5114
Padoue	5762
Fiume.	993 ^{mm} ,5595

Il résulte encore de là que la longueur du pendule est plus courte à l'occident du méridien de Paris qu'à l'orient, ou, ce qui revient au même, que le pendule retarde; ce qui annonce une dépression de ce côté, ainsi que nous l'avions déjà conclu des observations faites près du méridien. A l'orient, dans la partie montueuse de la France et de l'Italie, pour laquelle l'aplatissement peut aller jusqu'à $\frac{1}{134}$, la longueur du pendule est notablement plus grande, et ses variations extrêmement sensibles méritent d'être discutées. Le grand bombement des Alpes se trouve entre Clermont et Milan, et au mont Cenjis, vers le sommet de ce bombement, la longueur du pendule dépasse de 0^{mm},19 celles de deux points situés à droite et à gauche dans les dépressions. Nous avons montré, page 12, qu'il existe un bombement entre Milan et Padoue; dans cet intervalle la longueur du pendule augmente de 0^{mm},064; de Padoue à Fiume il y a une forte dépression, et la longueur du pendule diminue de 0^{mm},016. Il est donc extrêmement probable, d'après le petit nombre d'observations que nous venons de rapporter, que les anomalies observées dans les variations de la longueur du pendule, à la surface de la terre, sont principalement dues aux inégalités de sa structure intérieure, constatées par la comparaison entre les résultats géodésiques et astronomiques: sur les bombements le pendule avance, et il retarde dans les dépressions, ou il s'allonge sur les uns et se raccourcit dans les autres; ce qui est précisément le contraire de la colonne barométrique.

Dans le *Bulletin universel* de Férussac, M. Segey a publié un fort beau Mémoire sur les anomalies observées dans la marche du pendule, qu'il attribue à des élévations et à des dépressions du sol par rapport au niveau elliptique. D'après le principe que les longueurs du pendule à secondes sont en raison inverse des carrés des distances au centre de la terre, il a dressé un tableau de l'ensemble des élévations et des dépressions, résultant des observations consignées dans celui de notre § 3, d'où il conclut: « qu'il existe un abaissement du » sol au-dessous du niveau elliptique qui, partant de 70° N., s'en irait croissant » jusqu'au 80° degré, et probablement jusqu'au pôle. Ce résultat n'est pas cer- » tain, vu qu'on se trouve à la limite des observations: il existerait un renfle- » ment de 70 à 60°; il n'est pas non plus bien avéré, puisqu'il ne repose que sur » l'observation de Drontheim, un peu trop éloignée du méridien de Paris. Mais » de 60 à 52°, le sol se déprime certainement pour se relever ensuite de 52 » à 40°, où il atteint son maximum d'élévation; à 38° il paraît rentrer au niveau.

» moyen. Cette protubérance embrasse donc une étendue de 14° ; sa marche est
 » progressive et bien marquée des deux côtés du maximum. Sans doute le niveau
 » réel de la mer s'élève au-dessus du niveau moyen, quand on suit le méridien
 » de Paris de 35 à 5° de latitude nord, c'est-à-dire depuis les côtes de Barbarie
 » jusqu'à celles de Guinée; mais les observations manquent sur cette étendue
 » de pays, et l'on ne possède que l'observation de Sierra-Leone, qui donne une
 » élévation de 128^m ; la trace du méridien de Paris à l'équateur (au sud des
 » hautes montagnes de la Lune) éprouve ensuite une forte dépression, dont on ne
 » peut indiquer la limite australe faute d'observations. Au cap de Bonne-Espé-
 » rance, il y a élévation du sol.

» En récapitulant, on voit que le niveau réel de l'Océan est au-dessous du
 » niveau elliptique moyen dans la mer Polaire, sur les côtes du Spitzberg et du
 » Groenland; sur les côtes et dans l'intérieur de la Grande-Bretagne, à l'équateur
 » et dans l'océan Atlantique méridional; qu'il est au-dessus de ce niveau moyen
 » sur les côtes de la Norwége, dans le voisinage des monts Dofrines; en France,
 » et surtout à la latitude des Alpes, des Cévennes et des Pyrénées; que cette
 » élévation se trouve probablement dans l'Atlas et dans les chaînes de montagnes
 » situées entre le Sénégal et la Guinée; elle paraît dans le voisinage de ces der-
 » nières et au cap de Bonne-Espérance.

» Les mêmes causes produisent les mêmes effets dans la forme de l'équateur
 » ou des parallèles voisins; c'est ce que montre le tableau suivant des lieux com-
 » pris entre les tropiques, et dont les longitudes sont comptées à partir de Paris.

LIEUX.	LONGITUDES.	HAUTEUR DU SOL.
Sierra - Leone.	$15^\circ 36' 0$	+ 128^m
Ascension (moyenne). . .	$16 43$	— 214
Bahia.	$40 53$	+ 242
Rio-Janeiro.	$45 38$	+ 324
Maranham.	$46 42$	+ 455
Trinité.	$63 56$	+ 440
Jamaïque	$79 14$	+ 104
Ile Mowi.	$159 02$	— 373
Ile Guam.	$142 37 E.$	— 488
Ile Rawak.	$128 35$	+ 215
Ile de France (moyenne). .	$55 08$	— 500
Saint-Thomas.	$4 24$	— 268

» Ce tableau montre qu'il existe de fortes dépressions dans le voisinage des îles » qui sont éloignées des continents; il annonce des élévations déjà sensibles à la » Jamaïque et à Rawack, qui sont peu éloignées, l'une du continent américain, » l'autre de la Nouvelle-Guinée, et des élévations considérables sur toute la côte » orientale de l'Amérique; les élévations seraient probablement beaucoup plus » fortes sur la côte occidentale voisine de la chaîne des Andes. »

Il est clair, d'après ce que nous avons exposé plus haut, que les élévations du sol dont parle M. Segey sont des dépressions, et les dépressions des élévations; quant aux différences de hauteur, qui peuvent aller jusqu'à 400^m, elles sont beaucoup trop grandes. Nous avons prouvé qu'elles ne dépassent pas 10^m dans toute la partie de l'Europe comprise entre l'Océan et la mer Adriatique. Mais M. Segey considérant des protubérances ou des dépressions d'une étendue de 14°, il peut arriver que la déformation dans un tel espace soit produite par une masse très étendue située à une grande profondeur. Alors la croûte du globe pourrait être soulevée ou abaissée de plusieurs centaines de mètres, par rapport au niveau elliptique, sans que nous pussions le constater par le petit nombre d'observations géodésiques et astronomiques que nous possédons. Mais comme la présence d'une masse plus dense produirait toujours un bombement, l'intensité de la pesanteur se trouvant augmentée, le pendule serait toujours plus long. S'il était bien démontré que ce n'est pas seulement dans les îles au-dessous desquelles se trouvent nécessairement des masses plus denses que le pendule bat le plus vite, mais sur toute la surface de l'Océan, il faudrait en conclure qu'il existe au-dessous un vaste bombement de la croûte terrestre. C'est, du reste, ce que l'on pourrait conclure de la courbure des arcs astronomiques, qui diminue notablement dans le voisinage des côtes comme dans l'intervalle qui sépare deux chaînes de montagnes.

Les grandes déformations dont il est ici question doivent présenter des inégalités dans le voisinage de leur surface, et c'est uniquement de celles-ci que nous nous occupons dans ce Mémoire.

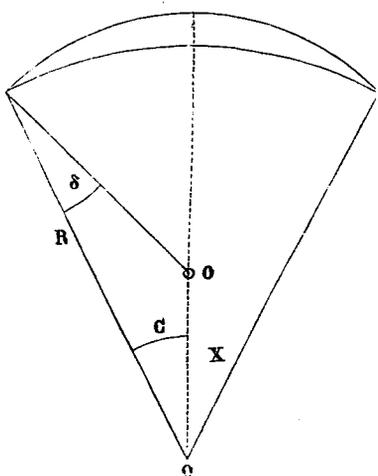
De ce que les moyennes barométriques sont très fortes dans plusieurs îles éloignées des continents, où le pendule bat très vite, il n'en faudrait pas conclure qu'il y a anomalie dans la marche des deux instruments. En effet, le maximum de l'accélération du pendule est de 10 oscillations en 24 heures, ou 10 oscillations sur 86400; ici, l'effet de la masse perturbatrice accroît donc de $\frac{1}{8640}$ l'action de la pesanteur. La colonne barométrique devrait donc baisser dans le même point de $\frac{760^{\text{mm}}}{8640} = 0^{\text{mm}},1$, sans tenir compte de l'effet de la masse perturbatrice sur la colonne d'air; or l'augmentation dans ces îles allant jusqu'à 5^{mm} est certainement due aux influences atmosphériques.

De tout ce qui vient d'être exposé relativement à la marche du pendule et à celle du baromètre, on peut conclure, 1° que les anomalies que présente la

première à la surface des eaux tranquilles sont presque uniquement dues à l'influence des masses intérieures; 2° que quant à celles de la seconde, une partie seulement de l'effet observé, mais partie notable, doit être attribuée à cette même influence.

Le but que je me suis proposé dans ce Mémoire ne me permet pas de pousser plus loin cette belle question des irrégularités de structure du sphéroïde terrestre, et de leur influence sur la forme de la surface des eaux tranquilles; il me faudrait entrer dans des considérations d'un ordre trop élevé pour l'état actuel de la géologie. Mon camarade Hossard, dont les conseils m'ont été d'un si grand secours pour toutes les questions que je viens de traiter, ayant bien voulu se joindre à moi, nous publierons bientôt ensemble un second Mémoire dans lequel le problème sera résolu aussi complètement que possible.

FIG. 7.



Les différences d'amplitudes des arcs géodésiques et astronomiques, rassemblées dans le tableau page 27, donnent le moyen de calculer la quantité dont le point de concours des verticales s'est élevé dans les bombements au-dessus de l'axe de l'ellipsoïde, et s'est abaissé au-dessous du même axe dans les dépressions, en considérant deux à deux plusieurs verticales sur le même parallèle. Soit x cette quantité, 2δ la différence entre les amplitudes géodésiques et astronomiques, $2C$ l'amplitude de l'arc total, R le rayon de la terre, il est facile de voir, d'après la figure 7, que l'on aura

$$\text{Pour les bombements,} \quad x = \frac{R \sin. \delta}{\sin. (C + \delta)};$$

$$\text{Pour les dépressions,} \quad x = \frac{R \sin. \delta}{\sin. C}.$$

En effectuant le calcul pour tous les arcs du parallèle moyen réunis dans le tableau, page 27, nous sommes arrivé aux résultats suivants :

Entre Fiume et Padoue,	$C = 1^{\circ}16'45''$	$\delta = - 13''$	$x = +16948^m$
Padoue et Milan,	$C = 1^{\circ}20'37''$	$\delta = + 1''2$	$x = - 1240$
Milan et le Mont Cenis,	$C = 0^{\circ}56'10''$	$\delta = + 5''3$	$x = - 8902$
le Mont Cenis et le Colombier,	$C = 1^{\circ}35'30''$	$\delta = - 2''3$	$x = + 6478$
le Colombier et Ysson,	$C = 1^{\circ}17'52''$	$\delta = - 11''$	$x = +14134$
Ysson et Sauvagnac,	$C = 1^{\circ} 1'42''$	$\delta = + 1''5$	$x = - 2431$
Sauvagnac et Saint-Preuil,	$C = 0^{\circ}47'52''$	$\delta = + 1''3$	$x = - 2716$
Saint-Preuil et Marennes,	$C = 0^{\circ}28'37''$	$\delta = - 3''3$	$x = +11532$

Les valeurs de x sont donc considérables; plusieurs dépassent la $\frac{1}{600}$ partie du

rayon terrestre. Or, sur un parallèle à l'équateur, toutes les verticales vont se réunir au centre qui est un point de l'axe de rotation. Dans la formation d'un bombement, ou, ce qui revient au même, d'une chaîne de montagnes, l'axe de rotation a donc dû se déplacer. On pourrait objecter que de chaque côté du bombement il se produisait en même temps deux dépressions, et que la tendance à l'élévation de l'axe d'une part a dû être compensée par la tendance à l'abaissement de l'autre; mais, d'après la nature des corps qui entrent dans la composition des chaînes de montagnes, et celle des forces par lesquelles ils ont été sollicités dans l'action du soulèvement, il n'est pas probable que l'un des effets ait été exactement compensé par l'autre. Si l'axe s'est déplacé, quelque petit que soit le déplacement, d'après les lois du mouvement de rotation autour d'un axe fixe démontrées en mécanique, il a fallu que la forme de la terre éprouvât une modification de même ordre, et ce changement de forme a produit les grands phénomènes géologiques.

Les moyens manquent pour calculer, même approximativement, les déplacements de l'axe de la terre dans la formation des chaînes de montagnes; on n'aura jamais de données suffisantes sur la quantité de matière lancée au-dehors; on ne saura jamais comment le ménisque de l'équateur s'est modifié en même temps pour faire équilibre au déplacement de la matière intérieure. Mais la masse entière des Alpes produisant, seulement sur une largeur de quelques lieues, une protubérance dont la hauteur n'excède pas la $\frac{1}{6000}$ partie du rayon terrestre, et surtout d'après ce qui est démontré dans le livre V de la *Mécanique céleste*, il est probable que les déplacements ont toujours été très petits.

Dans ce même livre V, page 347, Laplace a prouvé que, du principe de la conservation des aires, il résulte que toutes les causes qui peuvent agiter la terre, tant à la surface qu'à son intérieur, les mouvements des eaux, les vents alizés, les tremblements de terre, etc., ne produisent aucune perturbation sensible dans le mouvement de rotation: « Le déplacement de ses parties, dit-il, » peut seul altérer ce mouvement. Si, par exemple, un corps placé au pôle était » transporté à l'équateur, la somme des aires devant toujours rester la même, le » mouvement de rotation de la terre en serait un peu diminué; mais pour que » cela fût possible, il faudrait supposer de grands changements dans la consti- » tution de la terre. » C'est précisément ce qui est arrivé à chaque époque de formation de chaînes de montagnes.

Le fait consigné dans le livre V, n° 9, que depuis les premiers temps des observations astronomiques jusqu'à nous, la longueur du jour moyen n'a pas sensiblement varié, prouve simplement que, dans cet intervalle, notre globe n'a point éprouvé de grandes commotions, qu'il ne s'est pas formé de nouvelles chaînes de montagnes. Cependant la matière intérieure est loin d'être en repos: les déflagrations volcaniques qui continuent encore sous nos yeux, les trem-

blements de terre, les mouvements continuels du sol, constatés dans les régions boréales et quelques autres contrées, etc., etc., annoncent qu'elle est au contraire continuellement en mouvement, et, par conséquent, que l'axe de rotation n'est pas rigoureusement fixe. A cette cause pourrait bien être due une très petite partie du phénomène de la nutation et de la précession, peut-être les variations séculaires que les astronomes ont reconnues dans ce phénomène.

§ VI.

Application des résultats précédents à l'explication de phénomènes géologiques.

Il est parfaitement constaté, par ce qui a été exposé dans les paragraphes précédents, que la surface de notre planète, abstraction faite de la partie extérieure des montagnes, la surface de niveau, celle que les mers occuperaient si elles venaient à couvrir le globe entier, présente une série d'élévations et de dépressions qui sont en rapport avec les irrégularités de la structure intérieure. Les chaînes de montagnes et leurs prolongements occupent le sommet des bombements, et les espaces qui les séparent correspondent aux dépressions. Il y a aussi des élévations et des dépressions dans les plaines, entre Milan et Parme par exemple, que l'on ne peut découvrir que par le secours des observations géodésiques et astronomiques, du pendule et du baromètre. Les mers paraissent placées dans de grandes dépressions de la surface du globe, mais ces dépressions elles-mêmes doivent présenter beaucoup d'irrégularités, puisque le pendule a signalé des bombements considérables sur lesquels les îles se trouvent placées.

Les calculs du colonel Puissant démontrent clairement, § 1, que toute la partie de la France située à l'orient du méridien de Paris, et quelques portions de l'Italie, sont placées sur divers sphéroïdes très bombés, parmi lesquels l'aplatissement aux pôles du sphéroïde moyen serait $\frac{1}{134}$, plus que double de celui donné par la théorie des inégalités lunaires, et qui convient à l'ensemble du globe terrestre, tandis que la partie occidentale de notre pays, et quelques unes des portions de l'Angleterre que baigne la Manche, se trouvent au contraire sur des sphéroïdes déprimés, ou allongés aux pôles, parmi lesquels le sphéroïde moyen se rapproche beaucoup de la sphère, ou, en d'autres termes, qu'à l'orient du méridien de Paris, il existe un fort bombement très irrégulier, et qu'à l'occident, au contraire, il existe une grande dépression, qui s'étend jusque dans les îles Britanniques. Or, c'est précisément de ce côté que se trouve le bassin de l'Atlantique et les points les plus bas de la surface de la France. Abstraction faite des Pyrénées, il y a peu de sommets situés à l'occident du méridien de Paris qui atteignent 450^m au-dessus du niveau de l'Océan; mais à l'orient de ce méridien, au contraire, il existe deux séries de hautes chaînes de montagnes.

La première est formée par les Cévennes, dont la hauteur absolue va jusqu'à 1700^m; les montagnes de l'Auvergne, où se trouvent des sommets de 1500 et 1880^m; celles du Forez, dont la crête atteint 1360^m; celles du Beaujolais, dont les points culminants s'élèvent de 900 à 1000^m; les chaînes de la Bourgogne et du Morvan, qui atteignent 600 et 900^m au-dessus de la mer; les Vosges, dont plusieurs sommets dépassent 1200 et 1400^m; enfin, la chaîne des Ardennes, dont l'élévation de la crête au-dessus de la mer est de 500^m.

La seconde série comprend les montagnes de la Provence, qui s'élèvent depuis 1000 jusqu'à 1900^m; les Alpes et leurs ramifications, dont plusieurs sommets dépassent 3000, et même 4800^m; enfin, le Jura, dont la hauteur de la crête atteint souvent 1600 et même 1700^m.

Les observations du pendule, d'accord en cela avec celles du baromètre, faites sur plusieurs points de la surface de la France, de l'Angleterre et de l'Italie, conduisent à la même conséquence: elles annoncent une dépression qui part du méridien de Paris pour s'étendre vers l'occident, et un bombement notable à l'orient de cette même ligne.

Cette coïncidence, parfaitement établie, de l'existence dans les mêmes régions des grands reliefs de la surface, et des bombements du globe démontrés par la comparaison entre les résultats des mesures géodésiques et astronomiques, les observations du pendule et celles du baromètre, est un fait des plus remarquables; elle annonce une intime liaison entre la cause, quelle que soit du reste sa nature, qui a donné naissance aux chaînes de montagnes, et celle qui a produit les bombements dans lesquels les rayons des parallèles à l'équateur se trouvent un peu plus grands qu'ils ne devraient l'être pour le sphéroïde donné par la théorie des inégalités lunaires. Dans les dépressions, en France, à l'occident du méridien de Paris, dans la partie orientale de l'Angleterre, etc., les rayons des parallèles à l'équateur ont été, au contraire, un peu diminués.

Les curieux résultats consignés dans ce Mémoire, qui se prêtent tous un mutuel appui, bien qu'ils aient été obtenus par des méthodes complètement différentes, et que les savants, qui ont fait les observations, ne se soient nullement concertés entre eux, sont complètement indépendants des observations géologiques; voyons maintenant ce que nous annoncent celles-ci.

Les plaines les plus élevées, toutes les chaînes de montagnes, offrent des terrains évidemment formés dans le sein des eaux, et qui gisent maintenant à une grande hauteur au-dessus du niveau de l'Océan, quoique plusieurs d'entre eux, comme le terrain subapennin, le crag de l'Angleterre, etc., renferment un grand nombre de coquilles d'espèces identiques avec celles qui vivent encore dans les mers contiguës. Ces terrains, qui se présentent souvent en couches inclinées, mais souvent aussi en couches horizontales, sont évidemment sortis du sein des eaux. Il est extrêmement probable que l'action à laquelle ils doivent leur position actuelle est la même que celle qui a déformé la surface du globe,

et non pas un simple déplacement du niveau des mers, comme le supposent quelques géologues. Les déformations de la masse solide donnent une explication simple et naturelle des déplacements de la masse liquide : le vaste bassin des mers est probablement composé d'une série de dépressions correspondantes aux soulèvements des diverses parties des continents, dans lesquelles les eaux ont été forcées de se réfugier à mesure que les bouleversements intérieurs et extérieurs avaient lieu. Comme la masse des eaux, bien qu'elle couvre les 0,75 de la surface de notre planète, n'est que le 0,0001 de la masse solide, on conçoit qu'à des soulèvements comme ceux qui ont donné naissance aux Alpes, aux Cordilières et aux chaînes de l'Asie, qui atteignent 4800^m, 5000^m et 7800^m de hauteur absolue, puissent correspondre des abaissements assez considérables pour que, malgré le raccourcissement éprouvé par les rayons des parallèles à l'équateur dans un grand nombre d'endroits, des portions de terre déprimées, comme la partie occidentale de la France, la partie orientale de l'Angleterre, etc., etc., aient pu rester élevées au-dessus des eaux.

Le beau travail de M. Elie de Beaumont sur les soulèvements (1) a démontré d'une manière positive, par la réunion d'un grand nombre de faits géologiques, que, depuis les premiers temps de sa consolidation, la surface de la terre avait éprouvé une série de bouleversements qui ont donné naissance aux différentes chaînes de montagnes, et que les plus considérables de celles-ci, comme les Alpes, les Cordilières, sont précisément les plus récentes. Dans ce travail, M. de Beaumont s'est déjà habilement servi des anomalies que présentent les résultats déduits des opérations géodésiques et astronomiques exécutées dans les diverses parties de l'Italie et du Piémont, et en France pour l'établissement du système métrique, ainsi que des observations du pendule faites par M. Biot, tant sur la méridienne de Paris que sur le parallèle moyen, pour confirmer les conclusions qu'il avait déduites de ses observations géologiques, et surtout pour montrer que l'action qui a donné naissance à la chaîne principale des Alpes s'est prolongée à travers les Alpes occidentales jusqu'à une grande distance à l'ouest, quoique les effets n'en soient pas apparents à l'œil. Dans cette partie de son Mémoire, ce célèbre géologue a mis en rapport certains faits géologiques avec les anomalies constatées dans la longueur des degrés de latitude et la direction du fil à plomb dans le voisinage et sur le prolongement des chaînes de montagnes. Il a fait remarquer, par exemple : 1° que l'arc du méridien compris entre Carcassonne et Evaux, qui offre de grandes différences entre les résultats géodésiques et astronomiques (pag. 27) se trouve à cheval sur le prolongement mathématique de la chaîne principale des Alpes ; 2° qu'il passe dans le voisinage de dépôts tertiaires relevés vers le sud jusqu'à une grande hauteur, et que cette même méridienne

(1) *Recherches sur quelques unes des révolutions de la surface du globe (Annales des sciences naturelles, 1829 et 1830).*

côtoie les masses volcaniques du Cantal et du Mont-Dore; 3° mais, comme les observations consignées dans la base du système métrique montrent que les anomalies existantes en Auvergne sont plus considérables que celles que présente la portion de la méridienne à cheval sur les Pyrénées, la déviation du fil à plomb en Auvergne se lierait probablement avec la hauteur extraordinaire qu'atteignent les dépôts tertiaires, à peu près comme la déviation du fil à plomb observée à Gênes, à Pise, à Florence, à Rimini, etc., semble se lier à la hauteur que les terrains tertiaires atteignent sans cesser d'être horizontaux.

Après avoir discuté toutes les anomalies que présente la direction du fil à plomb dans le voisinage des Alpes, M. de Beaumont ajoute (page 279) : « On ne peut s'empêcher d'être frappé de la circonstance que les déviations sont plus fortes et moins inconstantes sur les versants italiens que sur ceux qui regardent l'Allemagne, la Suisse et la Savoie. C'est aussi sur ces versants que viennent au jour les mélaphires, les serpentines, et ce rapprochement semble favorable à l'hypothèse qui regarde ces roches comme les agents du soulèvement des chaînes dont elles font partie. Les irrégularités qui me paraissent se trouver le plus en rapport avec la bande des serpentines et le système des Alpes occidentales, sont celles qui ont été constatées par les opérations géodésiques et astronomiques pour la mesure d'un arc du parallèle moyen, exécutées en Piémont et en Savoie pendant les années 1821, 1822 et 1823. »

Il est donc parfaitement prouvé que la forme actuelle du globe terrestre diffère notablement de sa forme primitive, et que l'état présent des choses à sa surface n'est pas le résultat d'une seule commotion, mais bien d'un grand nombre de commotions, dont les plus considérables sont les plus rapprochées de nous.

Il y a encore plusieurs autres faits géologiques parfaitement en harmonie avec les précédents; citons-en quelques uns. Le fond de presque toutes les grandes vallées, celles de la Saône, du Rhône, de la Loire, de la Seine, du Rhin, etc., était, jusqu'au commencement de l'époque actuelle, occupé par des lacs d'eau douce dans lesquels se sont formés les puissants dépôts d'attérissements qui le couvrent aujourd'hui; ces lacs paraissent s'être tous vidés dans le même temps géologique. Tout le littoral de la Méditerranée, quelques parties de celui des îles Britanniques, de la France, de la Scandinavie, de la Russie septentrionale, de la Crimée, etc., offrent des amas de coquilles parfaitement conservées, d'espèces identiques avec celles qui vivent encore dans les mers contiguës, gisant actuellement, en couches sensiblement horizontales, jusqu'à 100 mètres au-dessus du niveau de ces mers, et quelquefois jusqu'à cent lieues dans l'intérieur des terres. Les bossellements de la surface terrestre expliquent parfaitement comment ces amas de coquilles ont été placés dans la position où nous les voyons, sans cesser d'être sensiblement horizontaux (1). Les îles madréporiques de la

(1) Dans une surface bombée d'une étendue de 20 lieues ou de 100000 mètres, dont la flèche du ménisque serait de 100 mètres, le rapport entre la flèche d'augmentation de courbure et la base étant

mer du Sud ont été émergées par le même effet, qui, continuant à se produire, formera probablement, avec le temps, un grand continent dans cette région d'archipels; dans le même intervalle, quelques parties des anciens continents devront être envahies par la mer.

Les régions polaires arctiques présentent une grande accumulation, dans un terrain d'alluvion et dans les glaces qui couvrent une partie de la surface de la mer, d'animaux dont les analogues ne vivent plus aujourd'hui que dans la zone torride (éléphants, rhinocéros, etc.); les débris des roches de ces régions, qui ont été entraînés vers le sud, se sont répandus en divergeant sur toute la surface émergée, en Amérique, en Europe et en Asie, jusqu'au 51° de latitude, laissant à la surface du sol de profonds sillons marqués sur les roches, des traînées étroites de débris pierreux qui annoncent le passage violent d'un grand courant aqueux venant du nord.

Ce phénomène est tout-à-fait en rapport avec une des plus récentes déformations du globe. Que l'on suppose, avec M. Cordier (1), que les déformations de notre planète soient le résultat de la plus grande contraction de la croûte solide, par suite du refroidissement graduel; ou, avec M. E. de Beaumont (2), que cette croûte ne se contracte plus autant que le noyau intérieur, et que la nécessité où elle est de s'appliquer exactement sur ce noyau produise les déformations, cela revient exactement au même pour notre objet. Il nous suffit que les mouvements intérieurs, quelle que soit leur cause, forcent l'enveloppe solide à changer de forme; ce que M. Cordier a prouvé le premier, et ce qui est complètement confirmé par nos calculs.

Si donc une déformation, résultat d'une action intérieure, lente et continue, tend à diminuer le diamètre de l'équateur, le principe de conservation de la somme des aires dans le mouvement de rotation forcera les eaux des pôles à se rendre lentement et continuellement vers l'équateur pour contrebalancer cet effet. Mais une force qui tend à diminuer le rayon de l'équateur tend en même temps à faire rider la surface de la terre dans le sens des méridiens, et par conséquent à produire des crevasses dans le même sens. Si une pareille crevasse vient à se produire, une partie de la matière comprimée étant lancée subitement au-dehors, la pression cessera, et le globe cherchant à reprendre subitement sa forme primitive, les eaux accumulées à l'équateur retourneront vers les pôles avec une immense vitesse; là, venant affluer de tous les côtés, elles s'élèveront dans le premier moment à une grande hauteur en brisant la calotte

de $\frac{1}{1000}$, l'inclinaison des couches serait de 7' seulement, et de 13' si le soulèvement ne s'était étendu que sur une longueur de 50,000 mètres; car le rapport entre la flèche et la base serait alors $\frac{1}{500}$.

(1) *Essai sur la température de l'intérieur de la terre.* — *Annales des mines*, 2^e série, 1827, t. II, p. 53-138.

(2) *Manuel de géologie de La Bèche*, traduction française, page 665.

de glace. Mais alors elles auront perdu leur vitesse et se trouveront subitement abandonnées à l'action de la pesanteur, qui les précipitera avec violence, et en divergeant dans tous les sens, vers le sud, emportant avec elles les débris des glaces et ceux des roches dispersés dessus.

Il existe dans la nature une immense crevasse dont l'ouverture a nécessairement produit un semblable effet, celle d'où est sortie la grande chaîne des Andes, dirigée du sud au nord, la plus récente de toutes celles classées par M. de Beaumont, qu'il est tenté de regarder lui-même « comme la cause de » l'inondation passagère et subite dont on retrouve l'indication à une date » presque uniforme dans les archives de tous les peuples. » Avec la chaîne des Andes, la nature nous offre une immense quantité de productions de la zone torride accumulées dans les régions polaires, et les débris de celles-ci dispersés en abondance vers le sud. Une pareille coïncidence, qui s'accorde si bien avec la théorie, ne peut être l'effet du hasard : les deux phénomènes sont certainement intimement liés. D'après notre explication, les traces marquées sur les rochers par le courant venant du nord, et les traînées de débris laissées par lui doivent être dirigées N.-N.-E., S.-S.-O., à cause du mouvement de rotation de la terre qui s'effectue d'occident en orient. C'est effectivement ce qui a lieu dans la Scandinavie ; mais on doit dire aussi qu'en Finlande les traces des courants vont du N.-O. au S.-E. Il ne faut pas perdre de vue qu'après un pareil phénomène il s'est établi des oscillations dans la masse des eaux qui en ont modifié les effets.

Je pense que tous les déluges partiels, dont plusieurs peuples ont conservé la mémoire, ceux de Deucalion, d'Ogyges, etc., sont le résultat de l'ouverture de fentes peu étendues dans la croûte du globe ; et le littoral de la Grèce, qui présente beaucoup de volcans éteints, a dû surtout éprouver de pareils accidents.

Tous les phénomènes volcaniques de l'Auvergne sont des conséquences immédiates des déformations du globe. Dans un Mémoire que je présenterai bientôt à l'Académie, je montrerai que la série des cratères éteints de cette contrée se trouve au croisement de trois grandes lignes de dislocations, du système de la Corse, de celui des Alpes françaises et de celui de la grande chaîne des Alpes, fait confirmé par les observations géodésiques et astronomiques, qui montrent que la courbure du parallèle moyen et celle de la méridienne de Paris augmentent notablement en passant par-dessus la chaîne de l'Auvergne, et qu'à Omme, point situé tout près des volcans, le globe est trois fois plus bombé qu'il ne devrait l'être. (§ I, pages 6 et 8 ; § II, page 12.)

L'intercalation d'une formation d'eau douce parfaitement régulière, au milieu du terrain marin du bassin de Paris, a fait supposer, dès 1810, à Cuvier et à Brongnart, que la mer était revenue dans ce bassin après l'avoir abandonné pendant un long espace de temps, et M. de Beaumont a établi que le terrain avait été coupé en deux par la révolution qui a produit les chaînes de Corse et de Sardaigne.

On peut dire, en général, que toutes les grandes divisions faites par les géolo-

gues dans la croûte du globe, et qui correspondent assez exactement aux époques de grandes dislocations établies par M. E. de Beaumont, sont marquées par de puissantes masses de débris des roches préexistantes, brèches, poudingues, grès, etc., qui annoncent des mouvements violents et passagers dans les mers, tels que devaient en déterminer les changements de forme qui s'opéraient subitement dans la masse du globe, à chaque production d'une série de chaînes de montagnes.

Les forces qui ont produit les irrégularités du globe n'ont point encore cessé d'agir ; elles nous révèlent à chaque instant leur existence par les tremblements de terre, les déflagrations volcaniques, les émanations gazeuses, les sources thermales jaillissantes, etc., etc. Le soulèvement lent qui se manifeste d'une manière si remarquable dans les régions arctiques, que plusieurs phénomènes ont déjà fait soupçonner dans plusieurs autres parties du globe, et particulièrement sur les côtes de France, l'activité continuelle de quelques volcans (le Stromboli, etc.), la permanence des éruptions gazeuses et de la plupart des sources thermales, etc., annoncent que ces forces agissent d'une manière continue. Ces grands bouleversements, que tous les faits annoncent avoir été subits, et dont les hautes chaînes de montagnes nous offrent de si beaux exemples, correspondent probablement à des paroxysmes de l'action de ces forces, résultant de ce que leur intensité s'est trouvée momentanément beaucoup augmentée sur quelques points, ou, plutôt, que certaines portions de la croûte solide continuellement soumise à leurs efforts, venant à céder, les matières intérieures ont tout-à-coup jailli à travers les crevasses produites par l'effet de l'énorme pression qu'elles éprouvaient, en bouleversant toutes les couches solides qui se trouvaient sur leur passage. Il ne s'est produit des chaînes de montagnes, les couches solides n'ont été fortement redressées, que quand la croûte s'est brusquement rompue, quand il s'y est fait de grandes crevasses sous l'action des forces qui tendent à écarter certaines parties du centre. Mais, quand cette croûte a été assez flexible (1) pour céder sans se rompre, ainsi que cela est certainement arrivé dans les grandes plaines, comme celles de la Brie, de la Beauce, de la Lombardie, de la Russie, etc., les couches solides ont été écartées du centre dans des endroits et rapprochées dans d'autres, sans que pour cela elles aient cessé d'être sensiblement horizontales. Il faut bien distinguer les chaînes de montagnes des bombements du globe, dont elles occupent toujours le sommet ; ce sont des parties de ces mêmes bombements, où la croûte terrestre s'étant crevassée, les débris en ont été fortement inclinés, et quand les crevasses se sont étendues dans toute l'épaisseur, des matières fluides venant de l'intérieur, et passant à travers, se sont répandues au milieu d'eux. C'est

(1) Cette flexibilité a été démontrée par M. Cordier, dans son *Essai sur la température intérieure de la terre*.

ainsi qu'ont été injectées au milieu des couches neptuniennes toutes les roches feldspathiques, pyroxéniques, amphiboliques et serpentineuses, que nous présente l'intérieur d'un grand nombre de chaînes de montagnes.

Les éruptions volcaniques, tant celles des temps anciens que celles des temps modernes, sont dues à la même cause : c'est un cas particulier du grand phénomène général de déformation du sphéroïde terrestre. Dans son Mémoire sur la chaleur intérieure de la terre (page 77), M. Cordier a prouvé qu'il suffisait d'une contraction capable de raccourcir le rayon de la masse centrale de $\frac{1}{494}$ de millimètre pour produire la matière d'une irruption ; et que si l'on suppose que, par toute la terre, il se fait encore cinq éruptions par an, la différence entre la contraction de l'écorce consolidée et celle de la masse interne ne raccourcit le rayon de cette masse que d'un millimètre par siècle.

Quand la partie supérieure seulement de la croûte solide s'est cassée, s'est écaillée, sans que les fentes se propageassent, de haut en bas, dans toute son épaisseur, comme il arrive pour une branche de bois vert qui éclate sous l'effort que l'on fait pour la courber en rapprochant ses extrémités, les matières fluides intérieures, ne trouvant point d'issue, sont restées condensées dans les bombements. Dans ce cas, les montagnes produites ne doivent présenter que des couches neptuniennes plus ou moins brisées, plus ou moins inclinées, comme il arrive pour le Jura et pour quelques parties des chaînes de la Provence et du Languedoc. Dans plusieurs parties des bombements, la croûte extérieure n'a point éclaté, ou les crevasses ont été si peu considérables que les débris ont à peine été déplacés. Dans ce cas encore, les matières fluides intérieures ont rempli les cavités résultant de la production des bombements, sans pouvoir se répandre à la surface. Mais comme l'effet s'est toujours produit sur une grande étendue, et que, dans les déformations, la plus forte élévation au-dessus du niveau elliptique excède à peine 0,000001 du rayon terrestre, il en résulte qu'alors les strates des terrains, bien que soulevés, n'ont pas cessé d'être sensiblement horizontaux, comme on l'observe dans les grandes plaines.

Il résulte de ce qui précède qu'une chaîne de montagnes a dû se former d'un seul jet ; ensuite les agents intérieurs, continuant à travailler, ont modifié leur ébauche, que l'on me passe cette expression. Comme depuis les premiers temps de la consolidation de la croûte terrestre, jusqu'à l'époque actuelle, le globe continue à se refroidir, l'épaisseur de cette croûte a dû aller toujours en augmentant, et les chaînes les plus récentes doivent être les plus élevées, ce qui s'accorde parfaitement avec les résultats auxquels M. E. de Beaumont est parvenu par une longue suite d'observations géognostiques.

Quand plusieurs chaînes de montagnes, ou grandes lignes de soulèvements, sont venues se croiser dans une même région, le relief de cette région, augmenté à chaque croisement, a dû devenir notablement plus considérable que celui de tout le terrain environnant. Ainsi, les grands massifs des chaînes de montagnes,

comme ceux du Mont-Blanc, du Mont-Dore, du Cantal, etc., doivent être des régions de croisement de plusieurs lignes de soulèvement; je me suis assuré qu'il en est effectivement ainsi pour les deux derniers.

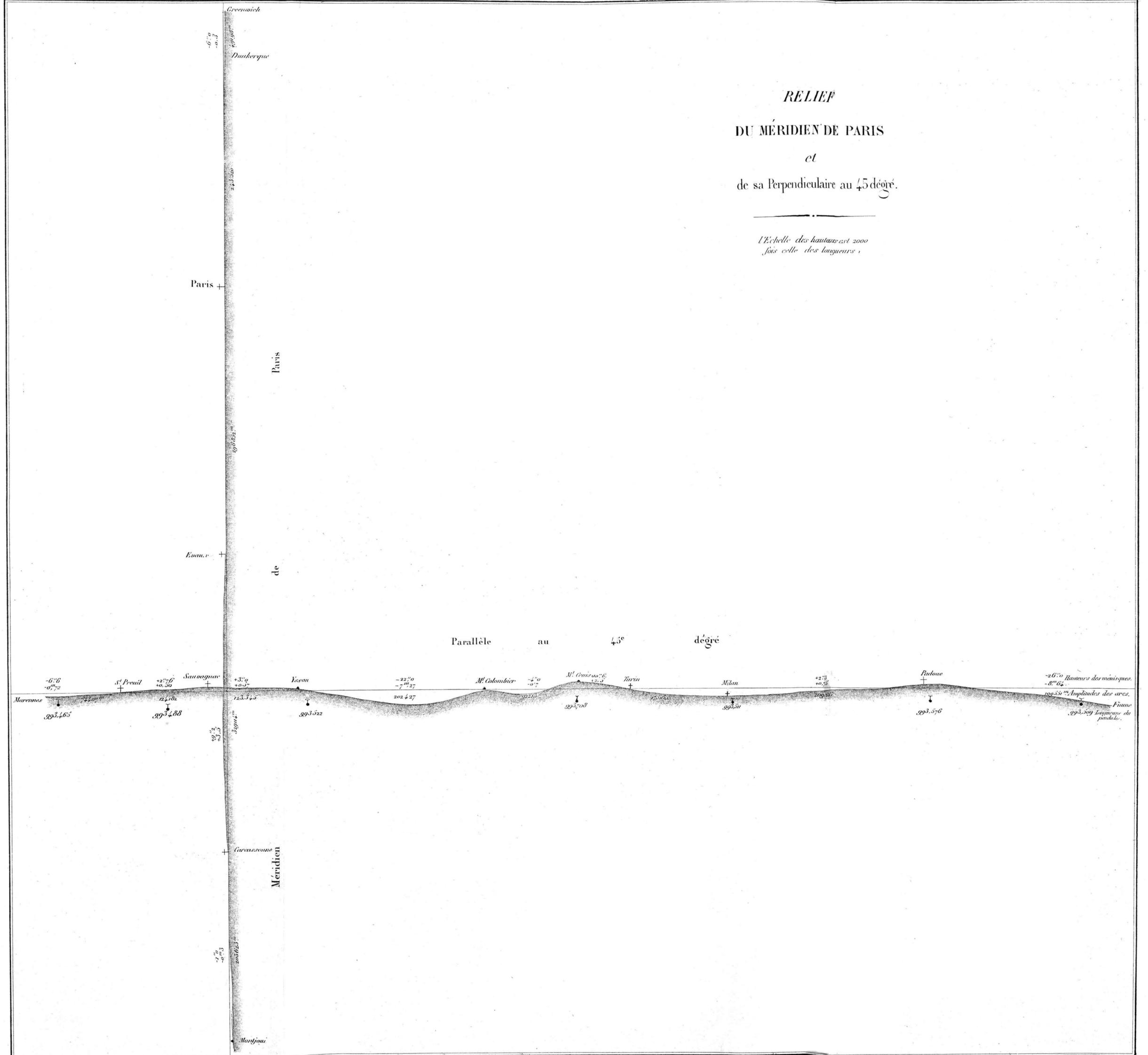
Plusieurs faits bien constatés annoncent que certaines parties de la croûte terrestre cèdent encore lentement et continuellement à l'action intérieure, comme les rives de la Baltique et du Groënland; mais un petit effort longtemps continué produit de grands effets. Il pourrait donc arriver que quelques portions de cette croûte vinssent à céder brusquement sous l'action des forces qui les sollicitent, et alors on pourrait voir se renouveler les grandes catastrophes que le globe a éprouvées antérieurement aux temps historiques.

Les travaux des géologues, et principalement ceux de M. de Beaumont sur les soulèvements, dont les résultats laissent encore des doutes dans beaucoup d'esprits, dans ceux surtout habitués à tout mettre en équation, peuvent donc maintenant être considérés comme susceptibles d'un degré d'exactitude presque comparable à celui qu'atteignent les astronomes et les physiciens, et la science géologique, loin d'avoir rien à redouter du contact de celles auxquelles on donne si justement le titre d'exactes, peut soumettre à leur sévère examen ses belles découvertes, qui ont jeté une si grande lumière sur l'histoire de la formation de notre planète.



RELIEF
DU MÉRIDIEN DE PARIS
et
 de sa Perpendiculaire au 45 degré.

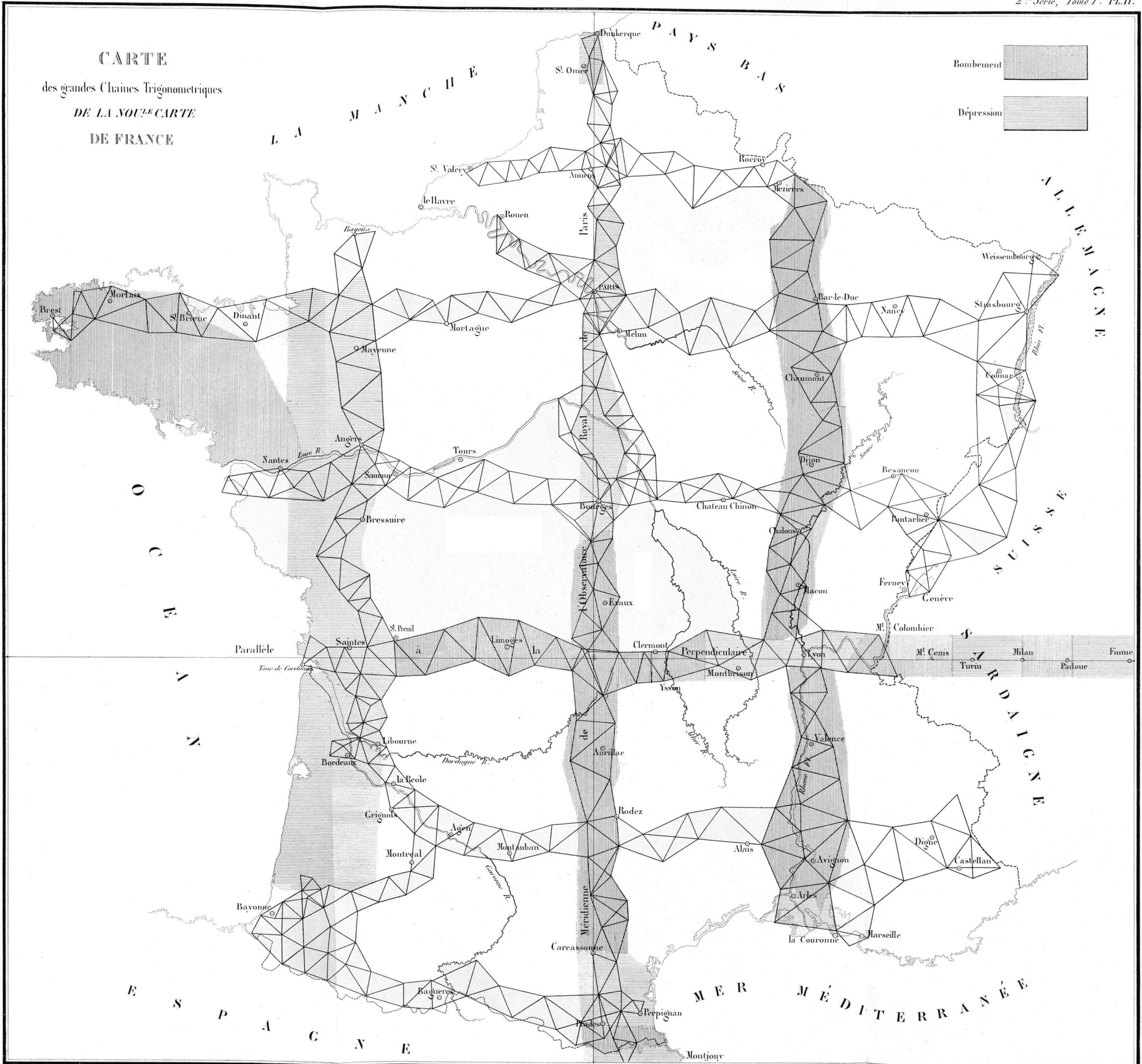
L'Échelle des hauteurs est 2000 fois celle des longueurs.



CARTE
des grandes Chaines Trigonométriques
DE LA NOUVELE CARTE
DE FRANCE

Bombement

Dépression



gravé par Ch. Avril, succ. des Noyers, n° 33.

Lith. de Simon Rue Montmartre N° 63