
RECHERCHES

SUR

L'ORIGINE PROBABLE DES FORMATIONS LUNAIRES,

PAR M. P. PUISEUX.

CHAPITRE I.

INTRODUCTION. CAUSES GÉNÉRALES DE DÉFORMATIONS A LA SURFACE DE LA LUNE.

Le Travail que l'on va lire a son origine dans l'examen des photographies lunaires récemment exécutées au grand Équatorial coudé de l'Observatoire de Paris, sous la direction de M. Lœwy. Il nous a semblé que ces documents, dont les astronomes ont été unanimes à reconnaître la haute valeur, pouvaient non seulement conduire à une connaissance plus approfondie de l'état actuel de la Lune, mais aussi jeter quelque jour sur son histoire et fournir les éléments d'une explication cohérente et détaillée.

L'observateur qui étudie la surface de notre satellite à l'aide d'une lunette puissante est presque infailliblement amené à se croire en présence d'un globe modelé par des forces très différentes de celles qui ont agi sur la Terre. Comme l'explique très bien M. Faye dans une Notice insérée à la fin de l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* (année 1881), le caractère général de tous les accidents importants de notre satellite est une forme nettement circulaire. Les seuls objets terrestres dont nous puissions les rapprocher, cratères de volcans ou entonnoirs naturels, sont bien loin d'être aussi réguliers, aussi vastes, aussi nombreux. Nous voyons d'abord sur la Lune de larges dépressions de teinte sombre empiétant les unes sur les autres, et couvrant ensemble près de la moitié de la surface visible. Le nom de *mers* qui leur a été conservé n'a d'autre raison d'être que le relief peu accusé de leur surface, mais nos instruments n'y révèlent l'existence actuelle d'aucune portion à l'état liquide. Ces plaines sont entourées de rem-

XXII.

C. I

parts élevés, irréguliers, n'offrant que des traces faibles et douteuses des forces d'érosion qui ont sculpté les chaînes de montagnes terrestres. Quelques-unes, moins étendues, ont encore leur rempart à peu près intact. Telles sont notamment la mer des Crises et la mer des Humeurs, qui ont gardé l'apparence de cercles complets. Ce caractère est plus marqué encore dans les grands cirques, tels que Ptolémée, Clavius, Maurolycus, Platon, Archimède. Ici nous avons affaire à des dépressions profondes. Le bourrelet qui les entoure est assez saillant, assez net pour leur donner quelque ressemblance avec les cratères terrestres; mais leurs énormes dimensions, leur profondeur de plusieurs milliers de mètres, ne permettent pas de suivre bien loin l'analogie. Elle peut être proposée avec plus de vraisemblance pour les petits cirques, répartis en très grand nombre, mais très irrégulièrement sur toute la surface lunaire. Si l'on descend dans les moindres, on en trouvera beaucoup qui sont de simples entonnoirs, sans rebord appréciable, et d'autres, au contraire, que leur saillie, tout à fait comparable à leur dépression centrale, rapproche nettement des volcans terrestres. L'abondance de ces petits cratères dans quelques régions déterminées, les coulées divergentes qui s'observent sur les pentes extérieures de certains cirques, d'autres indices encore que nous signalerons plus loin, ne peuvent guère s'expliquer que comme les manifestations d'une force éruptive.

Cette manière de voir a pour elle des autorités imposantes; mais on peut également citer contre elle un savant illustre, M. Faye. Pour lui, l'absence de volcans sur la Lune a le caractère d'une déduction mathématique. « Il n'y a pas de volcans », nous dit-il, « sans l'intervention de vapeurs ou de gaz. Or la Lune n'a ni eau ni gaz, donc les cirques lunaires ne sont pas des volcans. » Il nous semble que, pour donner à ce syllogisme une rigueur absolue, il faudrait en modifier la mineure et l'énoncer ainsi : « Il n'y a jamais eu ni eau ni gaz sur la Lune. » Or, quel est le physicien qui voudra prendre la responsabilité d'une telle affirmation? Il serait, croyons-nous, plus conforme à la logique de procéder en ordre inverse. S'il existe à la surface de la Lune des formations très analogues aux volcans terrestres, on pourra en inférer, avec vraisemblance, que la Lune a jadis possédé des liquides et des gaz à l'état libre.

Cette hypothèse est d'ailleurs en concordance avec toutes les théories cosmogoniques, sans en excepter celle de M. Faye. Satellite de la Terre, la Lune doit avoir une origine commune avec elle. Elle ne saurait manquer complètement des matériaux qui dominent dans la structure de notre globe. Ses nappes liquides ont pu s'insinuer par des fissures dans les couches profondes. Ses gaz ont pu se dissiper dans l'espace ou entrer dans des combinaisons solides. Les hypothèses physiques ne manquent pas pour expliquer la possibilité de ces phénomènes et,

sans s'attacher exclusivement à aucune d'entre elles, on ne saurait se croire autorisé à les rejeter toutes sans examen. D'ailleurs, la Géologie nous révèle, à la surface de la Terre, plusieurs étapes d'une évolution analogue. Les masses immenses de carbone ensevelies dans les mines de houille, ont flotté dans notre atmosphère à l'état d'acide carbonique : les bancs de sel gemme, avec l'eau de constitution qu'ils retiennent, ont été jadis à l'état liquide. Des contrées entières ne sont formées que de débris d'animaux marins, et il n'est peut-être pas une terre que l'océan n'ait autrefois recouverte. On est donc fondé à croire que la proportion des liquides et des gaz a fortement diminué sur la Terre, et leur disparition totale à la surface de la Lune ne doit pas nous paraître inexplicable.

En réalité, c'est à l'observation seule qu'il appartient de résoudre de tels problèmes. Nous pouvons bien accorder à M. Faye que l'on ne remarque sur la Lune ni sédiments, ni deltas, ni grandes vallées d'érosion. Affirmer qu'il ne s'y trouve aucune trace de dégradation atmosphérique serait excessif. Un observateur consciencieux et habile, M. Neison, estime, au contraire, que l'action de l'air et de l'eau a laissé des marques évidentes sur presque tous les points de la surface (¹). On doit, au moins, reconnaître que beaucoup de grandes formations, d'une indiscutable unité, ne subsistent aujourd'hui qu'à l'état de ruines. La mesure des ombres nous montre aussi, dans les remparts de presque tous les cirques, de fortes dépressions, des inégalités de niveau allant à 1000^m ou davantage. Beaucoup de sommités lunaires, M. Faye lui-même le signale, ont un profil accentué ou se terminent en pointe aiguë. Les soulèvements ou les dépressions de l'écorce terrestre n'ont jamais, croyons-nous, donné lieu à la production de telles formes. Seuls les agents d'érosion paraissent capables d'en créer de semblables.

Mais si l'action des eaux s'est exercée à la surface de la Lune, c'est d'une manière transitoire et limitée. Elle n'a fait que modifier, dans une mesure plus ou moins large, un relief antérieurement apparu. Si l'on remonte plus haut, à l'époque où la Lune, détachée, à l'état fluide, de la partie équatoriale de la Terre, a commencé à se revêtir d'une croûte solide, on conçoit que les mêmes causes qui ont fait surgir nos montagnes, ont produit, à la surface du globe lunaire, des déformations et des cassures. Le noyau liquide s'est contracté par suite d'un refroidissement lent mais continu. Des vides ont dû tendre à se former sous l'écorce solide. Celle-ci, insuffisamment soutenue, s'est affaissée sur beaucoup de points et les matériaux qui la composent étant dépourvus d'élas-

(¹) E. NEISON, *The Moon*, p. 17.

tacité, cet affaissement n'a pu se produire sans amener des plissements et des fractures.

Nous retrouvons ici les traits essentiels de l'histoire de la Terre, telle que l'envisagent aujourd'hui les géologues. Mais, à côté de cette cause de déformation, il en existe une autre sur laquelle M. Faye insiste avec beaucoup de raison : nous voulons parler de la marée produite sur le noyau liquide de la Lune par l'attraction du globe terrestre. La théorie cosmogonique de Laplace, appliquée au système formé par la Terre et son satellite, indique que la durée de la rotation de la Lune sur elle-même et l'orientation de son axe ont été autrefois très différentes de ce qu'elles sont actuellement. Les calculs de M. G.-H. Darwin ont même assigné, avec un certain degré de vraisemblance, la suite des valeurs numériques par lesquelles ont passé ces deux éléments (¹). Tant qu'il y a eu désaccord entre la durée de la révolution de la Lune autour de la Terre, et celle de sa rotation sur elle-même, il a dû s'établir périodiquement un excès de pression intérieure dans deux régions diamétralement opposées de la surface lunaire. Une insuffisance de pression correspondante a dû se produire au voisinage du grand cercle formé par les points de la Lune qui apercevaient la Terre à l'horizon. Nous voyons ainsi apparaître une cause nouvelle de soulèvement ou de dépression, comparable peut-être en intensité avec la première, mais absolument différente par la périodicité et la répartition de ses effets. Cette répartition a d'ailleurs été variable en raison des changements qui ont dû survenir dans la position de l'équateur de la Lune et dans la durée de sa rotation. On conçoit sans peine que cette marée intérieure n'a pu se produire sans exercer sur la croûte solide un frottement énergique, qui en a diminué la vitesse de rotation. A mesure que celle-ci se ralentissait, le noyau liquide tendait vers une forme d'équilibre plus voisine de la forme sphérique, moins aplatie par conséquent que l'écorce. Ainsi se manifeste une nouvelle cause de soulèvement vers les pôles, de dépression vers l'équateur.

En résumé, trois agents principaux de déformation ont dû exercer leur action sur la Lune : la contraction par refroidissement, la marée d'origine terrestre, le décroissement de la vitesse de rotation. De ces trois agents, le premier est intervenu presque seul pour créer le relief de la Terre ; les deux autres ont acquis, sur la Lune, une intensité hors de proportion avec celle qu'ils ont pu avoir sur notre globe. Si l'on suppose, en effet, la Terre et son satellite libres de se déformer sous leurs actions réciproques, les marées terrestres ne s'élèveraient

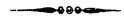
(¹) *Philosophical Transactions*, 1879-82.

pas à la centième partie des marées lunaires et, d'autre part, la durée de la rotation de la Terre a dû varier beaucoup moins que celle de la Lune. En présence de cette disparité des causes, la différence des effets n'a plus rien qui doive surprendre. Mais ce n'est pas tout : les intumescences formées à la surface de la Terre sont presque toutes sillonnées de vallées profondes. Les cours d'eau les ont ravinées au point de ne laisser subsister qu'une faible portion de leur masse primitive. D'immenses dépressions ont été comblées par les sédiments des torrents ou des glaces flottantes. Les chaînes de montagnes les plus anciennes n'ont guère laissé que des vestiges et, dans plus d'une région, aujourd'hui occupée par de vastes plaines, les affleurements successifs de couches redressées, mais rasées au niveau du sol ou ensevelies sous les alluvions, attestent seuls l'existence passée de soulèvements gigantesques. Il s'en faut bien que la surface de la Lune ait subi une transformation aussi complète; et c'est pourquoi les régions les plus arides de la Terre, où l'érosion a été lente et peu active, sont les seules à nous offrir des points de comparaison avec les montagnes lunaires.

Cherchons maintenant à prévoir la nature des déformations dont nous venons de signaler les causes vraisemblables. On conçoit, avons-nous dit, qu'un point donné de la croûte solide ait pu éprouver, de la part du noyau fluide, une pression tantôt excessive, tantôt insuffisante, pour contrebalancer l'effet de la pesanteur. Si, dans le premier cas, la pression est capable de vaincre en plus la cohésion des matériaux de l'écorce, on verra se produire un soulèvement, accompagné de fissures divergentes et d'épanchement superficiel de matières liquides. Si, au contraire, la pression intérieure cesse de faire équilibre à la pesanteur, il y aura, dans une région plus ou moins étendue, tendance à l'affaissement. Mais cet affaissement ne se produira pas dès qu'il y aura insuffisance de pression. La ténacité des matériaux solides qui composent l'écorce maintiendra celle-ci sous sa forme primitive, et cela d'autant plus longtemps que l'écorce sera plus épaisse. Quelques lézardes pourront d'abord se produire, puis viendra un affaissement général qui pourra embrasser une vaste étendue, et déterminera, sur le contour, l'apparition d'une faille ou d'une cassure. Si l'affaissement est considérable, ou s'il se produit en plusieurs fois, la portion déprimée devra elle-même se fissurer.

De ces deux modes de déformation, soulèvement et dépression, le second paraît avoir régné, d'une manière à peu près exclusive, à la surface de la Terre. Les géologues contemporains s'accordent, en général, à regarder les formations qui atteignent actuellement de grandes altitudes, comme de simples témoins du niveau primitif. Les soulèvements, auxquels l'École plutonienne attribuait une si grande importance, se réduiraient à des accidents locaux, refoulements amenés

par une pression latérale, production de cônes volcaniques, plissements de l'écorce entraînés par la diminution du volume intérieur. Mais sur la Lune, les causes de soulèvement sont, comme nous l'avons vu, plus nombreuses et plus intenses que sur la Terre, et il est permis de se demander si elles ne deviennent pas prépondérantes. L'aspect des cirques lunaires, si semblables à première vue, à certains cratères de volcans, a conduit naturellement à leur attribuer une origine éruptive. M. Faye a très bien montré que les prétendus volcans lunaires se séparaient par des différences profondes, des cratères terrestres, que leurs dimensions, la régularité de leur forme, ne permettaient pas d'y voir les bouches d'explosion. Cependant, la plupart des auteurs ont recours, en définitive, à l'éruption d'une matière liquide pour expliquer les formations circulaires et la surrection de remparts s'élevant à 1000^m ou davantage au-dessus des plaines environnantes. Cette manière de voir nous paraît devoir entraîner d'inextricables difficultés. Un examen plus attentif montrera que, sur la Lune comme sur la Terre, les grands accidents de la surface ont dû se former par voie de dépression et de refoulement latéral.



CHAPITRE II.

DE L'ORIGINE DES MERS LUNAIRES.

Les deux cinquièmes de la surface visible de la Lune sont occupés, avons-nous dit, par de vastes plaines de teinte relativement sombre, connues sous le nom de *mers*. Les inégalités de leur surface sont assez nombreuses, assez apparentes pour qu'il n'y ait pas lieu de s'arrêter un instant à la supposition qu'elles soient encore fluides à l'heure actuelle. Les régions assez restreintes où le sol semble dénué de tout accident ne réfléchissent jamais la lumière à la façon d'une nappe liquide. L'aspect uni de l'ensemble suggère invariablement l'idée d'une masse fluide lentement solidifiée et demeurée fixée à son niveau actuel. Plusieurs d'entre elles, comme le *Palus Putredinis* (*Pl. II*), le *Sinus Æstuum* (*Pl. I*) sont en partie occupées par de vastes nappes dépassant un peu l'altitude moyenne. Ces nappes se terminent par un front doucement incliné, et qui ne projette d'ombre qu'au terminateur. Un aspect tout semblable résulterait de l'épanchement d'une grande masse visqueuse, comme du goudron ou du brai de gaz. Si l'on porte son attention sur les accidents du sol, on est frappé de leur caractère d'isolement. Sans lien entre eux, ils surgissent brusquement comme des îlots ou des récifs, au milieu de plaines parfaitement unies. Il semble qu'ils ne soient pas le produit de la dislocation du sol qui les porte, mais plutôt les rares témoins d'un relief antérieur presque totalement submergé. Le contour des mers est, dans la plupart des cas, nettement circulaire; mais seules les plus petites ont gardé cette forme dans son intégrité. Le plus souvent, l'empiètement mutuel de deux mers voisines a détruit une partie du cercle limite, donnant naissance à des arcs discontinus, que la pensée rétablit sans peine dans leur unité primitive.

Les intervalles sont occupés par des plateaux bosselés et fracturés, offrant rarement une plaine de quelque étendue, et toujours plus élevés que les mers voisines. Le raccordement s'effectue par un versant abrupt, tournant invariablement, du côté de la mer, la déclivité de sa pente et la convexité de sa ligne de faite. Mais cette ligne, bien que souvent nette et accentuée, n'est en réalité qu'un bord de plateau : le versant opposé fait défaut. Si quelquefois il semble se rencontrer, c'est qu'une seconde mer, formée au voisinage de la première, a rongé le plateau interposé et l'a réduit, sur une longueur plus ou moins grande,

à une forme presque linéaire. Les seules parties de la Lune qui présentent une vague ressemblance avec les chaînes de montagnes terrestres, accusent clairement cette origine. La similitude sera plus complète si l'un des bords du plateau a subi un affaissement graduel sans formation de fissures. Tel paraît être le cas pour le côté méridional des Apennins (*Pl. II*).

Dans un travail déjà ancien ⁽¹⁾, le capitaine Rozet a tenté d'expliquer la forme des mers, aussi bien que celle des cirques par des mouvements tourbillonnaires. La consolidation partielle d'une planète primitivement fluide a pour effet, nous dit-il, d'isoler de grands lacs bouillants. A la surface de ces lacs, des tourbillons se produisent en raison des courants de vitesses différentes qui agitent le noyau fluide. Ces tourbillons usent et travaillent le rivage des mers, de manière à le modeler sur leur propre forme. Ils rejettent à leur périphérie les scories de toute nature dont ils sont chargés, et forment à la longue, suivant qu'ils opèrent sur une échelle plus ou moins grande, le bourrelet terminal des mers ou le rempart des cirques.

Dana ⁽²⁾ et, plus récemment, le Professeur Suess ⁽³⁾, considèrent aussi la Lune comme ayant été couverte de lacs bouillants nombreux et de vastes dimensions. Ils renoncent à expliquer, par des mouvements tourbillonnaires, la forme circulaire et la construction des remparts. Les laves épanchées à la surface de la Terre ne nous offrent, en effet, aucun exemple de tourbillons, et nous ne voyons nulle part ces mouvements, quel qu'en soit le siège, acquérir une constance et une durée assez grande pour édifier des constructions régulières et gigantesques. Dana supplée à l'intervention des mouvements giratoires en remarquant que toute fusion partielle d'une paroi solide tend à s'étendre autour d'un centre, et que tout liquide en ébullition rejette à la circonférence les impuretés de sa surface. Le Professeur Suess corrobore ces vues en signalant l'énorme réduction de volume que les matières fondues peuvent éprouver par le dégagement des gaz qu'elles tiennent en dissolution.

Sans nous attaquer ici à l'hypothèse abandonnée des tourbillons, nous croyons que la supposition commune aux trois auteurs que nous venons de citer demanderait à être appuyée de faits plus probants. On nous cite bien quelques petits bassins circulaires remplis de lave à l'intérieur du volcan de Kilauea (îles Sandwich). Il paraît même que ces laves sont sujettes à se vider intérieurement,

(1) ROZET, *Sur la Sélénologie* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXII, p. 470; 1846).

(2) DANA, *On the Volcanoes of the Moon* (*American Journ. of Science*, 2^e série, vol. II).

(3) *Sitzungsberichten der k. Akademie der Wissenschaften in Wien*; 1^{er} février 1895.

en laissant à leur place des cuvettes profondes. Mais la fusion superficielle d'une partie de la Lune, embrassant plusieurs milliers de kilomètres carrés, est un phénomène d'un tout autre ordre. Un afflux de chaleur se produisant autour d'un même centre avec une régularité et une intensité aussi grande, n'offre *a priori* rien de vraisemblable. On nous dit aussi qu'une telle masse fondue tend d'elle-même à s'étendre. C'est reconnaître, par là même, que ses limites sont variables, et la construction d'un énorme rempart, sur un contour déterminé, par une lente accumulation de matériaux, perd en même temps toute probabilité.

En vain voudrait-on, avec le capitaine Rozet, considérer la formation des grands lacs bouillants comme une étape naturelle de la consolidation de l'écorce. C'est faire la règle de ce qui doit être l'exception. La formation d'une croûte solide à la surface d'une planète ne peut que reproduire, sur une échelle plus vaste, ce qui se passe dans la congélation des rivières. Au début, apparaissent des îlots flottants, des bancs de scories, qui s'accroissent lentement par des soudures successives. Ils arrivent à ne laisser entre eux que des canaux étroits, qui s'obstruent et se congèlent à leur tour. A aucun moment, les interstices liquides n'ont chance de se maintenir sous la forme de cercles étendus.

Toutes ces difficultés s'aplanissent si l'on consent à regarder les mers de la Lune comme des aires affaissées, isolées par une crevasse circulaire dans une croûte solide et envahies dans leurs parties les plus profondes par l'épanchement d'un liquide intérieur qui s'y est solidifié. La probabilité, nous dirons presque la nécessité de tels affaissements, n'a pas besoin d'être démontrée pour le lecteur qui s'est tenu au courant des récents progrès de la Géologie. Les travaux de MM. Neumayr, Heim, Suess, de Lapparent, ont établi qu'il existe à la surface de la Terre deux grandes aires de dépression : l'une, développée surtout en latitude, formant l'océan Pacifique ; l'autre, étendue principalement en longitude et embrassant la moitié au moins de la circonférence du globe, comprend la série des fosses méditerranéennes. Les deux zones se souderaient ensemble aux environs de Sumatra. A côté de ces régions déprimées, il existe des aires stables que l'affaissement n'a pas atteintes. Tels sont le plateau central de l'Afrique et la calotte boréale, où l'ensemble des observations révèle un soulèvement continu ⁽¹⁾.

Ce résumé de l'histoire de la Terre semble écrit en caractères encore plus lisibles à la surface de la Lune. La dépression du Pacifique y serait représentée par la mer des Nuées et l'océan des Tempêtes. La série des fosses méditerra-

(1) Voir, à ce sujet, DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*, 3^e édition *passim*.

néennes y comprendrait les mers des Pluies, de la Sérénité, de la Tranquillité, de la Fécondité, des Crises, du Nectar (*Pl. XV*). Les points de soudure tomberaient au voisinage d'Ératosthène et du golfe des Iris. Au continent africain correspondraient les Alpes lunaires; à la calotte boréale l'immense région, manifestement surélevée, qui s'étend sur le disque visible au sud du trentième degré de latitude australe.

A côté de cette analogie d'ensemble, il convient de signaler quelques différences. La série des mers lunaires que nous avons citée en second lieu offre des contours plus nettement circulaires et mieux séparés que ceux de nos méditerranées. En revanche les bourrelets saillants des Alpes et des Carpathes, qui encadrent les cuvettes déprimées de la Hongrie et de la Méditerranée occidentale, sont faiblement représentés sur la Lune. Le soulèvement relatif de la calotte polaire semble s'être opéré sur notre satellite dans des proportions plus grandes.

L'hypothèse des tourbillons ou celle de la fusion superficielle ne rendent, à ce qu'il nous semble, aucun compte de ces différences. La théorie de l'affaissement local permet au contraire de les prévoir, et les fait apparaître comme des conséquences directes de la disparité des conditions physiques entre la Terre et la Lune.

Le phénomène d'une rupture partielle dans l'écorce déjà solidifiée d'une planète ne doit pas être considéré comme insolite. « La plupart des effondrements connus, sinon tous », dit M. de Lapparent, « résultent d'une rupture de voûte. Ce serait le cas de la mer Morte, et aussi celui de la vallée du Rhin, produit par l'effondrement de la clef d'une voûte que tendait à former le massif des Vosges et de la forêt Noire (1) ».

La possibilité de tels affaissements étant admise, sommes-nous fondés à croire que les mers de la Lune se soient effectivement formées de cette manière? A l'appui de cette opinion nous signalerons d'abord l'existence de fissures qui dessinent fréquemment leur contour, en formant une sorte de circonvallation au pied de la région montagneuse. Nous retrouvons ici, sur une échelle plus grande, un phénomène bien connu, constamment observé dans les cirques supérieurs des glaciers; la masse qui remplit le fond du cirque est séparée des pentes qui viennent y aboutir par une grande crevasse, appelée *rimaye* dans les Alpes de langue française, *bergschrand* dans les Alpes de langue allemande. Ce fait est dû à un affaissement progressif de la glace qui remplit le fond du cirque, affaissement résultant de sa fusion estivale et de sa progression vers les vallées.

(1) DE LAPPARENT, *loc. cit.*, p. 1552.

Les glaces qui revêtent les pentes, étant plus minces et en contact immédiat avec un fond de rochers, ne peuvent participer à cet affaissement. Une fracture doit donc apparaître et apparaît en effet sur la ligne de séparation. Un fait analogue se produit encore quand le niveau d'une pièce d'eau gelée vient à baisser. Il se forme une cassure circulaire, détachant une bande de glace qui reste adhérente aux bords. L'hypothèse que nous venons d'émettre correspond bien à la situation d'un grand nombre de fissures observées à la surface de la Lune ⁽¹⁾. Beaucoup d'autres ont pu se former de cette manière, mais des déformations ultérieures sont venues masquer leur relation primitive avec le relief du sol.

Une double objection se présente ici. En admettant que les mers de la Lune soient, comme les dépressions de la surface de la Terre, le résultat d'affaissements successifs, comment expliquer qu'elles embrassent en général des étendues plus grandes? et d'où vient qu'elles affectent une tendance bien plus accusée à prendre une forme régulièrement circulaire? Les considérations qui vont suivre lèvent, croyons-nous, la difficulté.

Il est d'abord aisé de se rendre compte que la forme circulaire est *a priori* la plus vraisemblable. Ce fait résulte de deux propositions de Géométrie, que nous énoncerons comme il suit :

Les figures successives d'équilibre d'une planète ou d'un satellite à l'état fluide, sous l'influence de forces lentement variables, sont des sphéroïdes, c'est-à-dire des figures dérivant de la sphère par une déformation infiniment petite et continue.

L'intersection de deux sphéroïdes voisins est approximativement un cercle.

La seconde de ces deux propositions résulte, en vertu du principe de continuité, de ce théorème élémentaire que l'intersection de deux sphères est un cercle. La démonstration de la première exige que l'on précise davantage l'hypothèse, ce qui ne peut se faire sans sortir du cadre des faits observés, mais aucun géomètre ne contestera, croyons-nous, qu'elle ne soit applicable à la Lune.

Suivons les conséquences de ces deux propositions : au moment de la solidification, la première croûte qui se forme représente une figure d'équilibre, et n'éprouve plus que des déformations relativement faibles. Aujourd'hui encore, les mesures micrométriques nous la révèlent comme très voisine de la sphère.

Sous la triple influence du refroidissement, de la marée terrestre, du ralen-

(1) On peut citer comme exemples : les rainures d'Hésiode, de Plinie, de Sabine (*Pl. III*), celles qui courent à la base nord-est des Apennins (*Pl. II*), celles qui limitent du côté sud la mer de la Sérénité et la mer de la Tranquillité, celle qui part de Gassendi et contourne à l'est la mer des Humeurs.

tissement de la rotation, la figure d'équilibre du noyau liquide se modifie. A l'intérieur de ce noyau, l'on peut imaginer des surfaces définies par la condition que la pression y atteigne une valeur donnée. Ces surfaces, de même que la figure d'équilibre extérieure, seront des sphéroïdes, et leurs intersections avec la croûte solide seront approximativement des cercles.

Il suit de là que si nous cherchons à déterminer sur l'écorce solide l'aire à l'intérieur de laquelle la pression reste au-dessous d'une valeur donnée, par exemple de celle qui est nécessaire pour faire équilibre au poids de la croûte, nous devons nous attendre à trouver chacune de ces régions limitée par un cercle. La fracture qui limitera la portion affaissée présentera donc aussi la forme circulaire.

Rien ne s'oppose à ce que ces cercles atteignent des dimensions considérables, embrassant une fraction importante de la surface de la Lune. Il suffit d'admettre qu'à un moment donné la figure d'équilibre est voisine de celle de l'écorce, que la pression intérieure ne varie qu'avec lenteur, enfin que la ténacité de la croûte est suffisante pour faire équilibre à un excès notable de la pesanteur sur la pression intérieure. Toutes ces suppositions n'ont rien que de très vraisemblable.

Quand la limite de résistance et d'élasticité de la croûte est dépassée, la cassure circulaire apparaît, l'affaissement se produit et relève momentanément la pression interne. Mais les mêmes causes continuant d'agir, la pression peut reprendre sa marche décroissante. La portion de l'écorce solide qui environne la région déprimée se trouve alors en porte à faux et finit par s'affaisser à son tour. Ainsi l'on voit apparaître une nouvelle crevasse, concentrique à la première. Ce cas est précisément réalisé à la base nord-est des Apennins (*Pl. II*), sur la limite méridionale de la mer de la Tranquillité (*Pl. III*), à l'ouest de la mer des Humeurs (*Pl. XII*). Une autre aire de basse pression peut se former ensuite dans une nouvelle portion du noyau liquide. De là un deuxième affaissement circulaire, qui peut empiéter sur le premier.

On demandera sans doute pourquoi ces cassures circulaires et concentriques ne se montrent pas uniformément sur la circonférence de toutes les mers. Il se peut d'abord que, suivant une opinion émise par le professeur Suess dans un travail déjà cité, la portion de l'écorce lunaire occupée aujourd'hui par une mer ait été amenée tout entière à l'état liquide et ne se soit solidifiée qu'à son niveau actuel. Mais cette explication ne nous semble pas avoir une portée générale, car il est peu de mers qui, examinées dans un éclairage favorable, ne révèlent pas les indices de plusieurs affaissements successifs par zones concentriques (*Pl. IV, V, VI*). On conçoit encore que si la dépression s'est effectuée sur une

croûte mince et encore ductile, les crevasses n'ont pu acquérir des dimensions suffisantes pour être aperçues avec les instruments dont nous disposons. D'autre part, dans une écorce déjà très épaisse, les portions disloquées n'ont pu avoir une mobilité suffisante pour créer des fentes de séparation d'un ou plusieurs kilomètres de largeur. Leur formation se conçoit mieux dans un état intermédiaire où les fragments flottent en quelque sorte sur le noyau liquide.

Il est d'ailleurs bien clair que les crevasses d'affaissement ont dû être, en raison même de leur origine, un des traits les plus instables et les plus aisément effacés de la surface lunaire. D'après l'énumération que nous avons faite des causes tendant à déformer l'écorce, on comprendra que la décroissance de la pression intérieure ne s'est pas produite uniformément. Entre les périodes d'affaissement, il a dû exister des époques de soulèvement ou de pression croissante. Sans être capable de faire remonter toute la portion déprimée à son niveau primitif, cette poussée ascendante a dû provoquer la fermeture d'un certain nombre de fissures précédemment formées. Ailleurs elle y aura fait pénétrer les matières fondues de l'intérieur. Beaucoup des cassures primitives ont subi de la sorte un effacement total ou partiel. Quand les laves ont été rejetées en grande abondance, elles se sont épanchées sur les plaines voisines en nappes bientôt solidifiées par refroidissement. Ainsi s'expliqueraient l'aspect très uni de certaines régions des mers, dépassant un peu le niveau moyen, et l'absence de toute fissure dans la partie centrale, qui a dû être la plus déprimée et la première submergée par les épanchements ultérieurs (*Pl. II, IV*).

Examinons maintenant de plus près la surface des mers et cherchons à décider si leur aspect révèle une fusion totale de la croûte, ou au contraire la submersion partielle d'une région déprimée de l'écorce solide.

Dans le premier cas, les élévations de terrain qui forment la limite des mers résulteraient de l'accumulation des débris abandonnés sur le rivage. Nous devrions donc avoir l'aspect d'une série de dunes, c'est-à-dire des collines doucement inclinées, réparties sur une plage étendue. Au lieu de cela, nous observons une cassure nette, avec une différence de niveau très forte, plus de 5000^m pour les Apennins et le Caucase. Les pentes tournées vers l'intérieur de la mer ont une extrême inclinaison, voisine de la limite compatible avec la ténacité des roches, certainement supérieure à celle que peuvent prendre d'une manière stable des débris amoncelés.

Si les remparts étaient formés par les dépôts de la masse liquide, toute la surface enfermée dans leur enceinte devrait offrir le caractère d'un fluide congelé, c'est-à-dire constituer une plaine uniforme. Nous trouvons au contraire des cas où la submersion ne s'est étendue qu'à une partie de la région

déprimée. Nous pouvons même observer le phénomène à plusieurs états successifs. La mer des Humeurs, par exemple, déborde son enceinte circulaire, la coupe en fragments discontinus et reflue à l'intérieur des cirques voisins (*Pl. VI*). Dans la mer des Pluies (*Pl. II*), l'épanchement liquide est moins abondant; il n'atteint pas la limite tracée par le bord septentrional du plateau des Apennins, et laisse même voir au pied de ce versant les traces d'un autre affaissement concentrique. Passons maintenant à la mer du Nectar (*Pl. V*), et nous trouverons la submersion encore moins avancée. La plaine centrale offre seule l'aspect uni qui lui a fait appliquer le nom de mer. Autour d'elle apparaissent deux zones concentriques, hérissées de montagnes et, clairement dessinées par deux lignes d'affaissement, dont la plus étendue forme la crête des monts Altaï. Que l'on imagine le sol subissant une dépression plus profonde ou l'épanchement liquide se produisant avec plus d'abondance; il est clair que tout se trouvera préparé pour la formation d'une mer infiniment plus vaste, où surgiront seuls quelques sommets isolés (*Pl. VIII*).

Ces élévations sporadiques, dressées souvent à 1000^m ou 1500^m au-dessus de la surface des mers nous semblent demeurer absolument mystérieuses dans l'hypothèse de la fusion totale. Elles n'ont point percé la croûte solidifiée, car l'horizontalité du sol demeure parfaite aux alentours. Ont-elles surgi par éruption sous-marine, flotté à la surface du liquide? Mais comment dans l'un et l'autre cas auraient-elles échappé à la fusion? Les annales géologiques ne fournissent aucun exemple d'un phénomène analogue, accompli sur une échelle comparable. La submersion presque totale d'une chaîne de montagnes, dont les sommets subsistent seuls sous forme d'îlots alignés, s'est au contraire produite maintes fois sur notre globe. Il n'est guère possible d'expliquer autrement la disposition des îles Lioukou, Kouriles, Aléoutiennes, qui s'étendent parallèlement aux côtes orientales de l'Asie.

On ne saurait évidemment rapporter à la même cause les bourrelets légèrement saillants, à pentes douces que l'on voit courir à la surface des mers sur d'énormes étendues (*Pl. VIII*). Nous sommes ici, croyons-nous, en présence d'un phénomène plus récent, celui où les laves rejetées par une fissure ne sont parvenues à la surface qu'avec lenteur et déjà rapprochées de leur point de solidification. Elles ne se déversent alors qu'à une faible distance de part et d'autre et finissent par s'accumuler au voisinage du point d'émission. Les veines en saillies formées de la sorte marqueraient donc le trajet de fissures comblées, et dessineraient comme elles des zones d'affaissement concentrique. Les mers des Humeurs (*Pl. VI*), de la Sérénité (*Pl. IV*), des Crises, du Nectar (*Pl. V*), qui ont

particulièrement bien gardé l'intégrité de leurs formes, présentent cette disposition au plus haut degré de netteté ⁽¹⁾.

Si cette manière de voir est exacte, on doit considérer les bourrelets, aussi bien que les fissures demeurées ouvertes, comme dessinant sur la croûte des lignes de moindre résistance. Sur ces lignes plus que partout ailleurs, la force d'expansion intérieure a dû trouver à se faire jour. Souvent, en effet, on rencontre sur le trajet des crevasses lunaires soit des entonnoirs profonds qui semblent des bouches d'explosion, soit des cônes saillants, à ouverture centrale, qu'il est difficile de ne pas considérer comme les manifestations d'une force éruptive. Des cratères de ce genre, analogues par leur dimension et leur forme aux volcans terrestres, se rencontrent également sur les bourrelets qui sillonnent les mers. On en trouvera notamment sur les lignes de jonction d'Archimède, Platon et Aristillus.

Ces cordons saillants, formant le trait le plus curieux de la surface des plaines, méritent de nous arrêter encore. Leur aspect rappelle à quelques égards celui des veines que l'on voit courir à fleur de peau. Tantôt rectilignes, tantôt sinueux, ils n'offrent guère d'autre caractère commun que leur relief adouci, leur altitude uniforme, et toujours faible en comparaison de celle des massifs montagneux. Le plus souvent, ils affectent une disposition concentrique à celle du rempart des mers, ce qui s'accorde bien avec l'hypothèse de cassures circulaires et successives. Si nous cherchons à la surface de la Terre des accidents analogues, nous trouverions d'abord à citer les cordons littoraux ou rangées de dunes qui s'élèvent sur les rivages plats et sablonneux, et qui, faisant obstacle à l'écoulement des eaux douces, donnent lieu à la formation des lagunes. Ces levées naturelles, produites par l'action des vagues, mais que les vents et les eaux douces tendent constamment à détruire, auront dû également apparaître sur la Lune si l'on admet qu'il y ait existé des étendues d'eau considérables. Soumises à des causes de destruction moins actives, elles auraient pu y atteindre une régularité, des dimensions dont notre globe n'offre pas d'exemple. Les cordons lunaires marqueraient alors la limite de l'étendue occupée à une certaine époque par des nappes liquides aujourd'hui desséchées. Mais, d'autre part, la présence de mers proprement dites à la surface de la Lune aurait dû provoquer, au moins sous certaines latitudes, une circulation d'eau, des érosions importantes, des sédiments dont nous recherchons vainement les traces.

(1) On peut consulter au sujet de la mer des Crises un dessin de M. Weinek, agrandissement d'un cliché de l'observatoire Lick (*Publications of the Lick Observatory*, vol. III, p. 33; 1894).

On pourra trouver encore quelque ressemblance entre les cordons lunaires et les bourrelets morainiques, qui marquent l'extension prise autrefois à la surface de la Terre par les glaciers. Les plus remarquables que nous puissions observer en Europe se rencontrent dans la plaine de la Haute-Italie, au débouché des vallées alpines. Celui qui ferme du côté de l'est l'horizon de la ville d'Ivrée représente le travail accumulé des glaciers dont les massifs du mont Blanc, du mont Rose et du Grand Paradis ne possèdent aujourd'hui que de faibles restes. Haut de plusieurs centaines de mètres et d'une étonnante régularité, il est tout à fait comparable par son étendue et sa situation à quelques-uns des cordons lunaires. Mais la différence d'origine est fondamentale. Nous ne trouvons rien sur la Lune d'analogue au système de vallées qui forme le bassin supérieur de la Doire Baltée. Les cirques d'alimentation ne manquent pas, mais ils ne communiquent pas entre eux ni avec des vallées de déversement, et par suite les conditions nécessaires à la formation d'un vaste glacier font absolument défaut. Les cordons lunaires eux-mêmes ne se montrent pas en relation avec les vallées plus ou moins confusément tracées qui débouchent de la région montagneuse. S'ils existaient actuellement, les glaciers ne pourraient se dérober à notre observation. S'ils avaient disparu par voie de fusion, il en serait résulté une abondante circulation d'eau dont nous retrouverions les vestiges.

Citons encore un fait qui nous semble propre à trancher la question. Le plateau montagneux qui s'étend au sud-ouest d'Eudoxe est traversé par une vallée nettement dessinée qui s'ouvre dans la mer de la Sérénité et semble s'y terminer. Sous un éclairage favorable, on constate que cette vallée se prolonge dans la plaine par une levée saillante, qui peut être suivie sur une longueur considérable (*Pl. IV*). Il est impossible d'examiner cette région sans acquérir la conviction que ces deux aspects contradictoires appartiennent en réalité à un seul et même objet, c'est-à-dire correspondent à une crevasse ancienne de l'écorce lunaire, demeurée ouverte dans la partie montagneuse, et comblée dans la partie basse par l'afflux des matières liquides auxquelles elle a servi de déversoir. Nous nous en tiendrons donc à l'hypothèse qui consiste à regarder les cordons lunaires comme l'œuvre d'une force éruptive.

Si les dépressions de la surface de notre globe ne montrent pas, comme celles de la Lune, une tendance habituelle à la forme circulaire, cela ne veut pas dire qu'elles aient une origine radicalement différente. Nous n'observons pas, en effet, le relief terrestre tel qu'il résulte des affaissements ou soulèvements partiels de la croûte, mais tel qu'il s'est trouvé après avoir subi un remaniement complet par l'action des eaux. Les grandes dépressions ont été remplies de bonne

heure par les océans, qui en ont lentement effacé le relief sous leurs dépôts accumulés. Les dépressions locales, demeurées supérieures au niveau des mers, ont servi de réceptacles aux eaux douces, qui les ont transformées en lacs. Bientôt la digue s'est rompue sur un point : l'ouverture s'en est élargie par des érosions successives ; les agents atmosphériques ont dégradé le rempart et l'ont abaissé, parfois rasé, au point de n'en laisser subsister que des vestiges malaisés à reconnaître, même pour l'œil exercé du géologue. Cependant les fosses révélées par les sondages au fond des océans, les enceintes montagneuses de la Bohême, de la Transylvanie, de la Haute-Italie, le bassin de la Seine, celui de la Garonne et une foule d'autres qu'il serait trop long de citer, gardent l'allure bien reconnaissable d'une forme circulaire primitive.

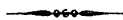
On doit d'ailleurs s'attendre à voir le même phénomène prendre dans les deux cas un développement inégal. Plus étendue que la Terre en proportion de son volume ; moins bien protégée par son atmosphère, la Lune a dû éprouver un refroidissement plus rapide, et arriver plus vite à constituer une croûte épaisse, capable de s'opposer aux causes de déformation et à la déperdition de la chaleur interne. Il suit de là que les affaissements, qui se sont étendus par degrés à la surface presque entière de la Terre, sont demeurés à l'état d'exception sur la Lune. Les aires déprimées y ont moins communément empiété les unes sur les autres, et leurs contours sont restés mieux reconnaissables.

On s'explique de même que les dépressions lunaires ne soient pas, comme celles de notre globe, bordées de chaînes de montagnes. Le phénomène, n'ayant eu qu'une moindre durée, n'a pas acquis des proportions aussi grandes. S'il nous semble encore très prononcé dans le sens vertical, c'est que les inégalités du sol sont demeurées intactes, au lieu d'être partiellement nivelées par voie d'érosion. Il semble certain que, si la période des affaissements avait pu se prolonger encore sur la Lune, nous constaterions l'effet de ces mouvements de bascule ou de ces refoulements latéraux auxquels on attribue maintenant l'apparition des chaînes alpines.

Par contre, la région australe de notre satellite accuse une stabilité relative ou même une tendance au soulèvement encore plus prononcée que la partie boréale de la Terre. La même explication paraît valable dans les deux cas. Les pôles de notre globe sont encore couverts aujourd'hui d'une calotte de glace, mais de nombreux indices prouvent que depuis le début de la période géologique actuelle l'étendue de ce revêtement s'est grandement réduite. De vastes régions sont ainsi devenues accessibles à l'action calorifique des rayons solaires. Elles ont éprouvé par suite un échauffement et une dilatation qui ont dû se traduire par un soulèvement du sol.

Si l'on part de cette donnée, aujourd'hui généralement acceptée par les géologues, il en résulte une présomption pour que les pôles de la Lune aient possédé, eux aussi, un revêtement de glace. Comme nous n'en retrouvons actuellement aucun vestige, il faut admettre que ces calottes glaciaires aient disparu en totalité. Les pôles de la Lune, comparés à ceux de la Terre, auront donc éprouvé une élévation de température et une tendance au soulèvement plus accusées. Cette conclusion est parfaitement conforme aux apparences observées, puisque d'une part l'aplatissement de la Lune vers les pôles est insensible, et que, de l'autre, il ne s'est formé dans toute la région australe aucune mer de quelque étendue.

Il serait évidemment d'un haut intérêt de fixer l'ordre chronologique de l'apparition des mers de la Lune. Quelques tentatives peuvent déjà être faites dans cette direction. Il est évident que si une aire d'affaissement vient à s'étendre jusqu'à empiéter sur une autre plus ancienne, elle devra en quelque sorte enchérir sur elle, et se fixer à un niveau inférieur. Or l'examen du sol aux environs de Pline (*Pl. IV*), celui de la trouée qui sépare le Caucase et les Apennins lunaires (*Pl. II*), montrent que la mer des Pluies est plus basse que la mer de la Sérénité, et celle-ci plus basse que la mer de la Tranquillité. La tendance à l'affaissement se serait donc propagée dans les Méditerranées lunaires de l'ouest à l'est. Il n'est pas à notre connaissance qu'une loi semblable ait été énoncée pour la Terre. Les sondages ont cependant montré que la mer des Antilles s'abaisse plus que le golfe du Mexique et la Méditerranée orientale plus que la Méditerranée occidentale. Ce point n'est pas le seul, comme nous le verrons par la suite, où l'étude de la Lune paraisse susceptible de fournir des indications utiles sur l'histoire ancienne de notre globe.



CHAPITRE III.

DE L'ORIGINE DES CIRQUES LUNAIRES. THÉORIES DIVERSES.

Après les mers, la surface de la Lune n'a pas de traits plus apparents que les grands cirques, considérés longtemps, mais sans raison suffisante, comme analogues aux cratères de volcans terrestres. Il convient, pour arriver à une théorie rationnelle, d'écarter tout d'abord ce rapprochement superficiel. M. Faye a présenté avec beaucoup de force diverses raisons qui ne permettent pas de s'y arrêter, au moins pour les cirques de grande dimension. Nous aurons à revenir brièvement sur ceux de ces arguments qui nous paraissent les plus décisifs.

Les accidents qui nous occupent peuvent être décrits d'une manière générale en peu de mots. Ce sont de vastes plaines, au contour très régulièrement circulaire, pouvant atteindre 180^{km} de diamètre ou davantage. On en compterait facilement dans la partie visible de la Lune, une centaine larges de plus de 30^{km}. Toutes ces plaines sont profondément déprimées, parfois de 4000^m à 5000^m, au-dessous du niveau moyen des régions voisines. Quand la dépression est peu marquée, il y a toute apparence qu'elle a été comblée par l'épanchement d'une matière liquide. Autour de la plaine centrale s'étend un rempart ou cordon montagneux, également circulaire, incliné en pente rapide vers l'intérieur, en pente douce vers le dehors. Ce n'est que dans le cas des petits cirques que l'on voit ce rempart se maintenir à un niveau uniforme. Le plus souvent, il offre des inégalités de hauteur qui vont communément à quelques centaines de mètres et peuvent atteindre jusqu'à 2000^m. Ils sont coupés de vallées transversales ou creusés de sillons qui dédoublent en quelque sorte leur crête et affectent la même courbure générale que le contour même de la plaine. Il est encore fréquent de voir l'abaissement de niveau, du sommet du rempart au fond du cirque, se faire en plusieurs fois, les temps d'arrêt étant marqués par des terrasses circulaires qui dessinent comme des anneaux concentriques. Ces formations circulaires se retrouvent quelquefois sur la pente extérieure; on y observe aussi, mais non pas d'une manière constante, des vallons divergents qui peuvent s'interpréter comme des interstices laissés entre des coulées de lave, ou comme des ravins creusés par érosion sur une pente convexe. L'uniformité de la plaine centrale est fréquemment rompue par un petit massif montagneux, toujours beaucoup moins élevé que le rempart extérieur et ordinairement sans liaison appa-

rente avec lui. Des ouvertures circulaires de toutes dimensions peuvent se montrer sur la plaine centrale ou sur le rempart; il est même commun de voir ce dernier disparaître sur une notable partie de sa circonférence, comme s'il avait été enlevé par explosion ou par affaissement. En pareil cas, on reconnaît facilement que la disparition du rempart est due à la formation d'un nouveau cirque empiétant sur le premier; celui des deux cirques dont la ceinture subsiste en entier est ordinairement le plus petit et le plus déprimé des deux. Mais si multiples que soient les dégradations de l'enceinte, la régularité de sa forme générale est telle qu'il est aisé de la reconstituer par la pensée dans son état primitif, et qu'il ne saurait y avoir de doute sur l'unité de la cause qui lui a donné naissance.

L'existence d'une cavité profonde dans une croûte solide nous semble pouvoir s'expliquer de quatre manières différentes : choc venu du dehors, explosion venue de l'intérieur, éruption progressive suivie de retrait, affaissement local. Nous allons examiner successivement laquelle de ces hypothèses répond le mieux aux apparences constatées.

La production de cavités énormes par le choc d'un projectile ne s'appuie sur aucun fait d'observation. Les bolides dont on a constaté la chute sur la Terre creusent des trous de quelques décimètres, en rapport avec leurs propres dimensions. La forme de ces trous n'offre aucune régularité. Comment les comparer aux cirques de la Lune, parfaitement circulaires, larges de 100^{km} et davantage? Il faudrait attribuer aux bolides qui ont frappé la Lune des proportions gigantesques et admettre que de pareils chocs se sont produits en très grand nombre. La Terre aurait dû en recevoir davantage encore, en raison de sa superficie plus grande. Son atmosphère n'aurait pu la préserver contre des projectiles aussi massifs et l'examen de l'écorce terrestre nous révélerait des traces manifestes de leur chute. On ne s'explique pas davantage, dans cette supposition, comment se sont formées la plaine intérieure, l'enceinte et la montagne centrale.

Il nous semble également impossible de s'arrêter à l'idée d'une explosion volcanique comme facteur unique ou principal de la formation des grands cirques. Ce n'est pas que nous voulions exclure *a priori* la possibilité de tels phénomènes à la surface de la Lune. L'absence actuelle d'eau et de vapeur, alléguée par M. Faye, ne nous paraît pas une raison péremptoire, et nous croyons même, comme on le verra au Chapitre suivant, qu'une observation attentive relèvera des traces certaines d'explosions anciennes. Mais les conclusions de l'éminent astronome n'en subsistent pas moins, avec quelque atténuation. S'il est certain d'une part que la vapeur d'eau est le facteur essentiel des explosions volcaniques, de l'autre que l'eau n'a joué à la surface de la Lune qu'un rôle relativement transitoire et effacé, il serait contre toute vraisemblance

de faire de notre satellite le théâtre d'explosions infiniment plus violentes que celles dont la croûte terrestre a gardé la trace. Les éruptions historiques paraissent avoir été tout à fait comparables, par la masse des matériaux rejetés, aux éruptions plus anciennes dont la Géologie relève les vestiges. Les coulées de lave de 80^{km} vomies, en 1783, par un volcan de l'Islande, l'effondrement du Krakatoa en 1883 sont assurément des phénomènes grandioses : ils ont eu cependant pour origine des orifices infiniment moins vastes que les cirques lunaires. Si ces derniers s'étaient comportés à la manière des volcans terrestres, il eût suffi d'un petit nombre d'entre eux pour noyer toute la surface de la Lune sous des nappes de débris et des coulées de lave. Le relief général de notre satellite, tout hérissé, même aux alentours des grands cirques, d'arêtes vives et de vallées profondes, contredit nettement cette manière de voir. En vain voudrait-on prétendre que les cirques se sont agrandis par des explosions successives. On ne saurait concilier cette hypothèse avec la forme parfaitement régulière que beaucoup d'entre eux ont conservée et qui apparaît chez tous comme le caractère le plus général et le plus certain de leur configuration primitive. C'est de toute nécessité une explosion unique qu'il faudrait placer à l'origine. Qu'on se représente une secousse assez violente pour faire voler en éclats plusieurs milliers de kilomètres carrés de l'écorce lunaire et qu'on se demande si elle ne laisserait pas, aux environs de l'orifice produit, des traces manifestes et indestructibles.

Les explosions soudaines sont ordinairement la première manifestation active des volcans terrestres. Aux émissions de vapeur d'eau et de gaz succèdent des pluies de cendre et de pierres qui exhaussent le cône volcanique; ensuite un épanchement de lave se produit, soit par le cratère du sommet, théâtre de l'explosion primitive, soit plus fréquemment par des fissures ouvertes sur ses flancs. Cette dernière phase seule, d'après M. Faye, se serait présentée à la surface de la Lune; une poussée intérieure, due probablement aux marées terrestres, aurait fait pénétrer les matières fluides dans un orifice préexistant. Le passage de ces matières aurait agrandi progressivement l'ouverture, et elles seraient venues se solidifier sur les bords en forme de bourrelet saillant. Aucune analogie, ce nous semble, n'autorise à considérer ce processus comme vraisemblable. Les orifices par où s'échappe la lave à la surface de la Terre sont d'étroites crevasses, ouvertes au fond des cratères ou sur les flancs des cônes volcaniques. Dans aucun cas on ne leur a vu prendre la forme circulaire. Loin d'acquiescer de grandes dimensions avec le temps, ces ouvertures s'obstruent rapidement dès que la force éruptive diminue, et disparaissent sous les matériaux qu'elles ont elles-mêmes rejetés. Le volume des matières émises a pu être extrêmement considérable : elles se sont étalées en nappes dans les pays de

plaine, allongées en vastes coulées dans les régions montagneuses. Nulle part elles n'ont formé de bourrelets circulaires étroits et saillants élevés de centaines ou de milliers de mètres au-dessus des régions environnantes. Ces formations en relief, limitées à une courte distance du point d'émission, ne se conçoivent que pour un liquide projeté goutte à goutte de manière à se solidifier presque instantanément, ainsi qu'il arrive pour les pétrifications souterraines. Un flot de lave, débordant sur une énorme étendue, a nécessairement d'autres allures et ne peut se figer qu'après avoir couvert de grands espaces. Encore moins comprendrait-on qu'un rebord formé par solidification progressive pût être coupé de brèches profondes et présenter entre les différents points de sa crête des différences d'altitude de 2000^m, ainsi qu'il arrive pour le cirque de Catharina (*Pl. V*). Il faudrait, pour expliquer de pareilles dénivellations, recourir à de vastes érosions subséquentes, hypothèse également rejetée par M. Faye, et que d'ailleurs rien ne justifie.

C'est par milliers de kilomètres cubes qu'il faut évaluer le volume du bourrelet dans les grands cirques lunaires, sans parler des mers dont ils ne sont que des copies réduites. Or l'observation des volcans, tant actuels que préhistoriques, n'a révélé aucune accumulation de lave sortie d'un orifice unique et pouvant mesurer un demi-kilomètre cube. Les nappes plus volumineuses ont toutes été alimentées par des orifices multiples, distribués le long d'une fissure. Les entonnoirs circulaires dont on a constaté la formation proviennent d'explosions ou d'effondrements. L'épanchement graduel des laves a pu en obstruer quelques-uns, mais n'en a jamais créé un seul. On voit combien il serait hasardeux d'attribuer à cette cause la création des bourrelets annulaires de la Lune, si réguliers et si gigantesques.

La nécessité de rendre compte de la forme circulaire a suggéré au capitaine Rozet l'hypothèse des tourbillons, chère à la philosophie cartésienne, et déjà signalée au Chapitre précédent. Pour lui, les surfaces unies de la Lune, le fond des cirques aussi bien que celui des mers, sont demeurés liquides longtemps après que les régions environnantes s'étaient consolidées; la construction des remparts est due aux mouvements giratoires qui n'ont cessé de rejeter au dehors les scories flottantes. On ne nous dit pas combien de siècles a exigé l'opération. A notre avis il faut savoir gré au capitaine Rozet d'avoir aperçu l'identité de nature des mers et des grands cirques et d'avoir tenté de les embrasser dans une même explication. Mais la cause qu'il invoque nous semble hors de toute proportion avec le résultat produit. Ni la persistance des tourbillons sur les mêmes points, ni leur aptitude à édifier des montagnes ne résultent de faits authentiquement constatés à la surface de la Terre.

Le géologue américain Dana a signalé le volcan de Kilauea, dans les îles Sandwich, comme reproduisant toutes les particularités essentielles des cirques lunaires. Nous avons ici sous les yeux une vaste cavité, enfermée entre des parois abruptes et dont le fond est plus ou moins liquéfié. Mais il ne faut pas se dissimuler l'intervalle qui reste encore à franchir. Le cratère de Kilauea mesure 300^m de profondeur et 5^{km} de largeur dans sa plus grande extension. Encore n'est-il pas circulaire. Il est ouvert sur le trajet d'une crevasse dont il constitue un élargissement. Sur le fond du cratère principal sont épars des bassins de lave en fusion, naturellement beaucoup plus petits. Le dégagement des gaz se fait sans peine à la surface de ces lacs brûlants; aussi n'observe-t-on point de manifestation explosive, nulle projection de pierre ponce et de cendres. C'est seulement par des oscillations de niveau, semblables à celles que décrit M. Faye, qu'il s'est formé à la périphérie de quelques-uns d'entre eux des bourrelets annulaires. On reconnaît sur la pente intérieure des terrasses concentriques, indice de la consolidation partielle des laves à des niveaux successifs. Mais on voit combien l'échelle est différente de celle des grands cirques et à plus forte raison des mers de la Lune. Or, entre ces deux genres d'accidents la transition est tellement insensible que l'on doit tenir pour suspecte toute théorie qui les sépare.

En principe, on ne saurait nier que des bassins déprimés ne puissent prendre naissance par la fusion complète d'une partie de la croûte. Le professeur Suess a cherché à reconstituer les phases d'un tel phénomène en s'appuyant sur des exemples empruntés à la métallurgie et aux manifestations, exceptionnelles, croyons-nous, du volcan de Kilauea. La distribution de la chaleur à l'intérieur du globe lunaire a pu, nous dit-il, se modifier dans une large mesure. Des portions, déjà solidifiées de l'écorce se sont trouvées ramenées à l'état liquide. Sous l'influence de pressions intérieures, elles ont pu entrer en effervescence et s'épancher sur les régions voisines. La température intérieure venant à diminuer, la nappe liquide s'est progressivement abaissée, laissant à sa place une cavité circulaire. Cet abaissement a pu se faire en plusieurs fois et être interrompu par des intervalles de réchauffement. Ainsi se seraient formées ces terrasses concentriques que l'on voit adhérentes aux parois intérieures de plusieurs grands cirques. Le dégagement des gaz combinés ou dissous suffirait, sans faire intervenir les marées terrestres, pour expliquer des élévations et des abaissements alternatifs du niveau; c'est ce qui résulte en particulier des observations faites dans les usines métallurgiques sur l'acier fondu dans des creusets en masses importantes. La portion liquéfiée de l'écorce serait revenue à l'état solide à une époque où elle était plus ou moins fortement déprimée. Depuis, elle n'aurait

plus éprouvé que des mouvements secondaires, dégagements de gaz qui auraient amené l'apparition de petits cratères, affaissements partiels qui se seraient signalés par des fissures.

Entre cette explication et celle que nous proposerons au Chapitre suivant, la différence fondamentale réside en ceci : suivant le professeur Suess, l'affaissement initial aurait porté sur une région de l'écorce préalablement amenée à l'état liquide. Pour nous, il aurait embrassé une région déjà solidifiée, et isolée par une crevasse circulaire. Cette seconde manière de voir nous semble beaucoup plus capable d'expliquer la dépression brusque des grands cirques et l'existence d'un rempart élevé. On notera en effet que la fusion d'une large portion de la croûte, se propageant du dedans en dehors est un phénomène essentiellement soumis à la loi de continuité. La portion d'écorce demeurée solide sur la circonférence devrait être mince et très affaiblie, incapable par conséquent de se soutenir pendant que la portion liquide s'affaisserait. Nous observerions en définitive une cuvette faiblement déprimée, reliée par des pentes insensibles à la plaine environnante, mais point d'effondrement brusque, moins encore de rempart saillant. L'apparition d'un relief aussi accusé suppose une croûte déjà résistante, brisée d'un seul coup dans toute son épaisseur, et c'est seulement de cet instant qu'il convient de faire dater la formation du cirque.

Il ne paraît pas impossible d'arriver à établir un autre criterium. Si l'intérieur du cirque s'est affaissé à l'état liquide, toute trace de sa configuration antérieure a dû disparaître. Les accidents du sol que nous pouvons y relever aujourd'hui seront nécessairement de date plus récente. Si, au contraire, l'affaissement a porté sur une croûte solide, les inégalités et les plis qui traversaient sa surface ont pu demeurer visibles et l'on peut espérer d'en suivre la continuation à travers les élévations et les cirques du voisinage. Or cette seconde alternative paraît justement réalisée en de nombreux points de la Lune. Nous voyons par exemple le cirque Flammarion (à l'ouest de Mœsting A), traversé par une rainure que l'on peut suivre du côté de l'est sur une grande étendue. Le cirque Parrot, contigu à la partie sud d'Albatégnius, bien que ruiné et remanié dans plusieurs de ses parties, garde dans sa région centrale l'empreinte d'un sillon rectiligne qui continue vers le sud, au delà du rempart, sous une forme plus accentuée (*Pl. VII*). Le revers intérieur de Cyrille (*Pl. V*) montre du côté ouest plusieurs sillons parallèles dirigés du nord au sud. On les retrouve dans la partie est du cirque voisin Théophile, et bien qu'ils semblent interrompus au passage de la cloison intermédiaire, sans doute de formation plus récente, leur continuité primitive ne paraît pas douteuse. Les grandes vallées rectilignes qui coupent le plateau montagneux situé entre Alphonse et Arzachel s'infléchissent à leur extrémité sud, et viennent

dessiner des sillons concentriques sur la pente intérieure d'Arzachel du côté de l'est (*Pl. VII*). Des vallées encore plus longues et plus nettes traversent la partie orientale d'Alphonse, franchissent le rempart, et s'étendent à travers une vaste région montagneuse dans la direction de Lalande (*Pl. VII*). Une rangée de cratères, qui s'aligne au nord d'Albatégnus A, se montre sur le fond du cirque, en escalade les pentes et se retrouve sans déviation ni affaissement sur les montagnes environnantes, à 3000^m ou 4000^m au-dessus.

Que faut-il conclure de tous ces faits, dont il serait aisé d'allonger la liste? Doit-on penser qu'une force relativement récente a creusé des sillons de direction et de profondeur uniformes sur des régions voisines, mais séparées par d'énormes différences de niveau et diversement orientées? Il nous semble bien plus probable que l'apparition des cirques lunaires résulte de la déformation d'une partie déjà inégale et accidentée de la croûte solide. Plus tard seulement des épanchements venus de l'intérieur se sont fait jour dans les régions déprimées, et les ont submergées en tout ou en partie.

Si les exemples que nous avons cités sont considérés comme probants, ils condamnent sans retour l'assimilation tentée par Nasmyth et Carpenter entre les grands cirques de la Lune et les cônes volcaniques formés par émission de pierres et de cendres. La force de projection, ainsi que J. Dana l'a fait remarquer, varie en raison inverse du diamètre de l'orifice, et n'eût jamais suffi à édifier ces vastes remparts. Les détails de leur structure ne se concilient pas davantage avec la théorie du géologue Poulett Scrope, qui compare les formations lunaires à la surface d'une masse pâteuse portée à l'ébullition et presque instantanément solidifiée. Les essais de Poulett Scrope ont porté sur du plâtre, auquel il a été trouvé nécessaire d'ajouter un peu de glu pour hâter la prise. M. Stanislas Meunier a tout récemment réitéré et varié ces expériences. Il a réussi à reproduire d'une manière satisfaisante une grande partie des apparences observées sur la Lune. Mais la différence des échelles est trop grande pour qu'il soit permis de voir là autre chose qu'une rencontre curieuse. Il faut déjà un choix de substances spécial, d'un caractère tout artificiel, pour arriver à produire des bulles de vapeur de quelques centimètres de diamètre. Leur dimension dépend beaucoup moins de la quantité de liquide emmagasinée dans la pâte que de la viscosité des matières portées à l'ébullition. Aucune composition connue ne pourrait donner des bulles comparables en étendue aux cirques lunaires. Si grandes qu'aient pu être les masses de vapeurs accumulées, des orifices infiniment moins vastes et moins nombreux leur auraient suffi pour se faire jour à travers une masse semi-fluide. Admettons même, contrairement à tous les résul-

tats de l'expérience, la possibilité de bulles gigantesques, capables en se dégageant de soulever un bourrelet liquide ou semi-fluide, à plusieurs milliers de mètres de hauteur. Comment ce bourrelet se serait-il figé de manière à conserver son relief? Cela est possible dans des expériences de laboratoire, d'un côté parce que l'on considère une substance choisie, où le point d'ébullition et le point de solidification sont pour ainsi dire confondus, de l'autre parce que l'on opère sur de petites masses, accessibles à de brusques variations de température. Mais ces deux conditions manquent absolument sur la Lune; et en présence de ce que nous savons de la longue persistance des laves à l'état liquide, la solidification instantanée de masses de plusieurs kilomètres cubes, tels que les remparts des cirques lunaires, apparaît comme une impossibilité physique. Sauf les menus débris rejetés à l'état solide, nous voyons tous les produits volcaniques s'étaler en coulées ou en larges nappes sans donner lieu à la production de saillies accusées ou de pentes rapides.

Il y a lieu toutefois de formuler ici la même réserve qu'au sujet de la théorie des explosions. Les difficultés que soulèvent ces deux explications, insurmontables quand il s'agit des grands cirques, s'atténuent à mesure que l'on considère des dimensions moindres, et pour les ouvertures relativement minimales que les meilleurs télescopes nous font apercevoir sur la Lune, il convient de retenir les curieux rapprochements auxquels donnent lieu les expériences de laboratoire.



CHAPITRE IV.

DE LA FORMATION DES CIRQUES LUNAIRES. THÉORIE DE L'AFFAISSEMENT LOCAL.

Les considérations qui précèdent nous conduisent à invoquer, pour rendre compte de l'existence des cirques, une cause autre que la force éruptive. Nous la trouverons dans la contraction progressive du globe lunaire, contraction qui a pour suite naturelle des affaissements locaux, limités à des régions circulaires.

Cette hypothèse s'est déjà présentée à nous quand nous avons voulu expliquer la forme des grandes plaines connues sous le nom de *mers*. Il était à prévoir que son rôle ne s'arrêterait pas là. Il n'existe, en effet, entre les grands cirques et les mers, aucune ligne de démarcation effective. De part et d'autre, les caractères généraux sont les mêmes : forme circulaire, dépression centrale, teinte sombre de la portion déprimée, aspect très uni interrompu seulement par des bouches d'éruption ou d'anciennes fissures comblées. Seules les dimensions diffèrent et les intermédiaires ne manquent pas pour établir la transition. On a déjà remarqué, depuis longtemps, que certains grands cirques voisins des bords de la Lune, et désignés, suivant l'usage aujourd'hui en vigueur, par des noms d'astronomes célèbres, auraient été classés parmi les mers, s'ils s'étaient mieux présentés pour l'observation. Tels sont, par exemple, Schickard, Grimaldi, Clavius, Cléomède. On peut ajouter que les grands cirques se rapprochent encore des mers par l'absence habituelle de sommité centrale.

Nous sommes donc conduits à regarder la formation des grands cirques comme imputable aux mêmes causes que l'apparition des mers, et les mêmes considérations nous semblent valables dans les deux cas pour expliquer la forme circulaire. Le seul fait de la profonde dépression des cirques autoriserait déjà à penser que leur existence est le résultat d'un affaissement et non d'un phénomène éruptif. On conçoit bien, il est vrai, la possibilité d'une éruption laissant après elle une vaste cavité, mais alors il faut admettre qu'elle se soit produite avec explosion. L'arrachement subit d'une portion de la croûte, mesurant 100^{km} de largeur ou davantage, aurait entraîné la production de fissures, de bouleversements étendus. Toute la région environnante aurait dû perdre son relief et disparaître sous l'entassement des débris. Un tel phénomène supposerait aussi ou la formation, bien invraisemblable sur une grande échelle, de mélanges de gaz détonants, ou l'émission de masses énormes de vapeur d'eau. Cette eau n'aurait pu manquer

de se condenser dans les parties froides de la Lune, et y aurait laissé des traces aisément reconnaissables de sa présence.

Le mécanisme de la formation des cirques s'est accompli sur une échelle moindre que pour les mers : par conséquent, l'affaissement a dû s'y produire avant que l'insuffisance de pression eût atteint une valeur aussi grande. Il y a donc lieu de faire remonter la formation des grands cirques à une époque où la croûte était plus mince et la solidification moins avancée. Les cirques constitueraient, en général, des accidents plus anciens que les mers. L'opinion inverse, bien qu'émise par divers auteurs et adoptée par le Professeur Suess, ne nous paraît pas reposer sur des exemples décisifs. On doit au moins reconnaître qu'elle comporte de nombreuses et indéniables exceptions. Les cirques que nous voyons surgir au milieu des mers paraissent bien n'être que les témoins isolés d'une configuration antérieure. Leurs bases ont été submergées par l'épanchement des matières liquides. En général, leur dépression intérieure s'est conservée à l'abri du rempart qui l'environne, mais il est arrivé parfois que la digue s'est trouvée insuffisante. Une brèche s'est ouverte et les laves fondues ont fait irruption dans l'intérieur. Telle serait l'origine des cirques incomplets comme Frascatorius (*Pl. V*) à rempart presque effacé ou submergé comme Guericke, Stadius (*Pl. I*) et tous ceux qui bordent le Sinus Medii.

D'autres indices encore montrent qu'au moment de la formation des mers la croûte devait présenter déjà de fortes inégalités, comme celles qui ont dû résulter de l'apparition des grands cirques. On observe à la surface des mers, particulièrement vers les bords, de nombreux îlots saillants sans lien visible entre eux, mais soumis cependant à des alignements manifestes. Il semble difficile de ne pas les considérer comme les sommets de montagnes ayant fait partie d'un même soulèvement, mais dont la relation est masquée parce que les masses liquides, déversées autour d'elles, ont submergé leurs bases jusqu'à une grande altitude. Ces élévations isolées, dont Picon est le type le plus saillant (*Pl. VIII*), n'ont pu se former après que la surface de la mer était solidifiée et fixée à son niveau actuel, car leur soulèvement n'aurait pas manqué de bouleverser le sol aux alentours.

Représentons-nous donc les cirques, ou tout au moins leur première ébauche, comme formés par affaissement ainsi que les mers, mais dans une croûte moins résistante. Ici, à plus forte raison que dans le cas des mers, l'affaissement pourra s'effectuer en plusieurs fois, car il n'est pas nécessaire, pour le déterminer, que l'insuffisance de pression atteigne une valeur aussi grande. On verra donc se produire plusieurs effondrements successifs, qui dessineront autant de bandes concentriques, séparées par des crevasses. La croûte pouvait, au moment de la

formation des cirques, être déjà très accidentée. Les parties faibles et déprimées, en cédant les premières, ont encore exagéré les différences de niveau, ce qui explique l'irrégularité des remparts.

Jusqu'à présent, nous ne voyons pas pourquoi les cirques sont entourés d'un rebord saillant : de plus, il semble que le fond du cirque devrait être inégal et crevasse, au moins autant que la région environnante. Or, ce fond est en général très uni, sauf une montagne centrale, qui même ne s'observe pas toujours, et quelques pointes isolées.

On s'en rend compte par la même raison qui nous a servi à expliquer la disparition des crevasses à la surface des mers. A la dépression succède une poussée intérieure qui ferme partiellement les fissures et chasse dans les interstices les matières fondues. Celles-ci s'épanchent sur le fond et le transforment en une plaine unie. Si cet épanchement n'arrive pas à se faire jour, le fond du cirque reste accidenté dans toute son étendue, et des fissures plus ou moins nombreuses y demeurent visibles. Ce cas est réalisé pour plusieurs cirques remarquables tels que Cyrille (*Pl. V*), Eudoxe (*Pl. IX*), Posidonius (*Pl. IV*), Gassendi (*Pl. VI*). Les deux derniers méritent une attention particulière par la netteté avec laquelle on voit se dessiner des anneaux circulaires et concentriques, non seulement sur les pentes extérieures ou intérieures du rempart, mais aussi sur la plaine centrale. Ces bourrelets secondaires, d'un relief trop marqué et d'un niveau trop inégal pour avoir pu se former à la lisière d'un bassin liquide, nous semblent s'interpréter beaucoup mieux comme le résultat d'affaissements brusques et successifs.

Quand la pression interne subit une forte recrudescence au-dessous de l'emplacement d'un cirque, la portion déprimée, affaiblie par ses dislocations antérieures, cède la première à l'effort intérieur qui tend à la soulever; elle réagit contre les bords de l'entonnoir, qui s'opposent à ce mouvement ascendant, les refoule et forme le bourrelet saillant. La trace de la fissure primitive, qui limite la région déprimée, demeure visible sur le rempart, mais elle perd de sa netteté, devient discontinue et prend l'aspect d'une vallée circulaire qui dédouble la ligne de crête. Dans le cas de plusieurs cassures concentriques, les bandes annulaires qui les séparent peuvent être relevées assez haut pour échapper à la submersion, pas assez pour atteindre le niveau du rempart. Elles arrivent ainsi à former deux ou trois terrasses étagées. Ces particularités s'observent dans la plupart des grands cirques. Copernic et Arzachel (*Pl. VII*) en offrent d'excellents exemples. Un cas plus rare est celui où la force éruptive est assez grande pour faire remonter toute la partie affaissée presque au niveau du rempart. Celui-ci se trouve alors réduit à son revers extérieur, et l'aspect général du cirque devient

celui d'une plaine exhaussée. Ainsi s'expliquerait la configuration particulière de Wargentin, reproduite à un degré moindre par Cassini (*Pl. IX*) et Posidonius ⁽¹⁾ (*Pl. IV*).

Dès que la partie déprimée atteint des dimensions un peu grandes, elle doit céder inégalement à la force éruptive. Les parois de l'entonnoir, demeurées intactes, opposent, par leur frottement, un obstacle insurmontable au mouvement ascensionnel des bords. Le centre seul obéit à la pression intérieure et se bombe progressivement. Quand la limite de résistance est atteinte des crevasses apparaissent, la lave se fait jour et vient remplir la portion déprimée, mais, si l'épanchement n'est pas très abondant, il s'arrêtera avant que la partie centrale ne soit submergée, et celle-ci prendra l'aspect d'une montagne isolée au milieu d'une plaine. Telle serait l'origine des sommités centrales si fréquemment observées dans les cirques de moyennes dimensions et qui causent, à première vue, tant de surprise par l'absence de toute relation visible entre elles et le relief environnant.

Les choses se passeront différemment dans les cirques très étendus. Ici encore la partie déprimée aura tendance à se bomber, mais la pression sera répartie d'une manière moins uniforme; la croûte pourra se fissurer presque en même temps, en plusieurs points éloignés les uns des autres; la région centrale n'aura plus de rôle particulier, et il n'y aura pas de raison pour qu'elle acquière une altitude prédominante. Si l'épanchement des laves est très abondant, tout le fond du cirque prendra l'aspect d'une plaine unie, comme il arrive pour Archimède, Platon (*Pl. VIII*), Schickard, Ptolémée. S'il l'est moins, on verra émerger plusieurs îlots séparés, mais révélant encore, par des alignements manifestes, leur communauté d'origine. Clavius et Maginus peuvent être cités comme exemples de cette disposition. C'est ainsi qu'à la surface de la Terre les îles Mariannes, Kouriles, Aléoutiennes, disposées en chapelets sur des centaines de kilomètres de longueur, demeurent comme les témoins d'anciennes chaînes de montagnes, actuellement submergées.

On trouvera peut-être que l'origine qui vient d'être assignée aux montagnes centrales ne rend pas suffisamment compte de leur forme. Un bombement, déterminé par l'action d'une pression intérieure, devrait présenter l'aspect d'un dôme surbaissé, au relief adouci. Les montagnes centrales apparaissent, au con-

(1) Le cas de Wargentin est loin d'être unique comme le présume le professeur Suess, et l'on pourrait trouver, parmi les formations secondaires et anonymes, des exemples encore plus nets. Tel est le plateau circulaire, sans rebord, que l'on rencontre au sud de Godin, dont il est séparé par un cirque assez profond (*Pl. X*).

traire, comme des sommités isolées, terminées en pointe, aux flancs escarpés. A cette objection, nous répondrons au Chapitre VI, en donnant une théorie plus précise de la formation des montagnes centrales. Disons toutefois, dès maintenant, que l'on est, en général, porté à s'exagérer leur raideur et leur élévation. On les observe, le plus souvent, près du terminateur, sous une illumination très oblique, et l'énorme développement des ombres fait illusion sur la hauteur des objets. Les calculs fondés sur des mesures exactes indiquent des pentes modérées. Nous doutons que l'on puisse citer un seul cône aigu, analogue à celui qui figure dans la coupe théorique de Copernic, jointe à la Notice déjà citée de M. Faye. En second lieu, il faut observer que le bombement du fond d'un cirque, sous l'influence d'une pression intérieure, n'est que le premier acte de la formation d'une montagne centrale. La croûte finit, en général, par céder et par se fissurer vers le centre. Les matières semi-fluides, chassées dans cette fente, obligent les deux lèvres à se redresser pour livrer passage à l'épanchement. Ainsi auraient apparu les levées saillantes que l'on voit courir sur le fond de plusieurs cirques, comme Alphonse (*Pl. VII*), Hipparque et Ptolémée. S'il y a deux fissures qui se croisent, l'éruption la plus active et, par suite, le relèvement le plus accentué du sol apparaîtront au point de bifurcation. On aura ainsi une montagne centrale à plusieurs sommets groupés dans un étroit espace, disposition fréquente que l'on voit réalisée à l'intérieur de Théophile (*Pl. V*), Aristillus (*Pl. II*), Eratosthène (*Pl. I*). Lorsque l'épanchement des laves a submergé, en majeure partie, le fond du cirque, l'îlot central se trouve battu en brèche de toutes parts. Miné par une érosion active, il peut arriver à disparaître en totalité, ou à ne subsister qu'à l'état de ruines. C'est ainsi que, dans les régions arctiques où les glaciers viennent se terminer dans la mer, on les voit présenter des falaises abruptes toujours entretenues par l'action corrosive des eaux. Leur formation n'exige, en aucune manière, l'intervention de courants rapides ou de tourbillons.

Un assez grand nombre de cirques, de dimensions modérées, n'ont, pour ainsi dire, pas de plaine intérieure, mais en revanche une sommité centrale bien accusée. Voici, à ce qu'il nous semble, comment on peut rendre compte de cette apparence. Que l'on imagine une cuvette formée une première fois sous l'influence d'un abaissement de pression intérieure, disloquée ensuite par une recrudescence éruptive, et enfin privée d'appui par une baisse nouvelle du flot liquide. L'îlot central, un moment soulevé, vient s'échouer au fond de l'entonnoir conique formé par les parois du cirque. Les fragments, comprimés par la pesanteur dans un espace de plus en plus étroit, se refouleront du côté où leur expansion trouve le moins d'obstacle, c'est-à-dire au centre et à la partie supé-

rieure. Le relief central tend, par conséquent, à s'exagérer sous l'influence des oscillations de la masse liquide.

Enfin, dans les cas assez rares où la montagne centrale offre un aspect nettement conique et isolé, rien n'empêche d'admettre qu'elle constitue une véritable cheminée volcanique, un de ces diatrèmes que M. Daubrée a reproduits artificiellement, dans ses belles expériences sur le rôle possible des gaz souterrains ⁽¹⁾. On a moins que jamais le droit de s'y refuser depuis que l'on a constaté, à l'intérieur du Kilauea, le plus semblable aux cirques lunaires entre tous les volcans terrestres, l'existence de cônes secondaires, dont plusieurs portent un petit cratère à leur cime. Rien d'étonnant si, dans le cas de la Lune, les ouvertures analogues se sont obstruées ou se dérobent, par leur petitesse, à nos instruments d'optique.

D'ailleurs, certaines montagnes centrales semblent bien, en effet, posséder un petit cratère à leur cime. Regiomontanus (*Pl. VII*) et Capella en sont des exemples manifestes. Les éminences intérieures de Copernic, d'Albatégnius, de Taruntius, seraient aussi dans ce cas, d'après le Dr Weinek et quelques autres observateurs. Si cette remarque venait à être généralisée, ce ne sont pas les cirques, mais les montagnes centrales, qui devraient être regardées comme les analogues des volcans terrestres, et il y aurait lieu de se demander si la production de vastes affaissements circulaires ne serait pas une conséquence directe des manifestations éruptives qui se sont produites vers leur centre. Nous entrevoyons ainsi, comme cause déterminante de la formation des cirques, une action plus énergique et plus localisée, dans ses effets, que la contraction graduelle du globe lunaire. Nous aurons à revenir sur cette question dans le Chapitre VI de ce Mémoire.

(1) A. DAUBRÉE, *Application de la méthode expérimentale au rôle possible des gaz souterrains dans l'histoire des montagnes volcaniques* (*Annuaire du Club Alpin français*, 18^e volume, 1891).



CHAPITRE V.

DES TRACES D'ACTIONS VOLCANIQUES A LA SURFACE DE LA LUNE.

Les objections que nous avons vues s'élever contre l'origine explosive ou éruptive des grands cirques perdent beaucoup de leur force quand on vient à considérer les petits cirques, larges de quelques kilomètres seulement, et analogues à bien des égards aux cratères terrestres. Le nombre de ces objets est extrêmement considérable, et semble augmenter sans limite à mesure qu'on les recherche avec des moyens optiques plus puissants. Les uns reproduisent en miniature la plupart des traits des grands cirques; d'autres s'en distinguent par l'absence de tout rebord saillant, et offrent l'aspect de simples cuvettes. Une troisième catégorie est formée de cônes en saillie, plus brillants que la région environnante, et portant à leur sommet une ouverture ordinairement très petite et difficile à distinguer. Presque toutes les transitions possibles entre les trois formes se rencontrent sur la Lune sans qu'il y ait lieu de considérer aucune d'elles comme affectée à une région spéciale; il paraît donc logique de ne pas attribuer à ces diverses formes de cratères des origines radicalement différentes, mais de les considérer comme des manifestations d'une même force parvenue à des degrés différents d'intensité. Rien ne s'oppose à ce que cette force soit la même que nous voyons à l'œuvre dans les éruptions volcaniques à la surface de la Terre.

On sait que l'activité d'un volcan débute ordinairement par une ou plusieurs explosions violentes. De grandes quantités de matériaux solides sont projetées dans l'espace et réduites en menus fragments. Des nuages de poussière se forment et s'étendent sous l'action des courants atmosphériques. On les voit dans certaines occasions obscurcir la lumière du Soleil à des distances prodigieuses du point d'émission.

Citons quelques exemples parmi les plus modernes et les mieux attestés :

Une convulsion de l'Hécla, survenue en 1766, a recouvert l'Islande presque entière d'une couche de cendre, épaisse de 0^m,60 au voisinage du volcan et mesurant encore 0^m,30 à 225^{km} de distance. Ces chiffres montrent la possibilité de dépôts assez vastes pour transformer complètement l'aspect d'un pays sans toutefois en modifier le relief dans une mesure appréciable.

En 1815, le volcan de Timboro, dans les îles de la Sonde, fut le théâtre d'une explosion formidable. Le cône, qui s'élevait à 4000^m de hauteur, fut abaissé à

XXII.

C.5

2700^m. Le sommet se trouva tronqué par un entonnoir de 25^{km} de tour et 530^m de profondeur moyenne. La quantité de poussières rejetée fut prodigieuse. A Bruni, dans l'île de Bornéo, à 1400^{km} vers le nord ⁽¹⁾, le phénomène fut assez intense pour frapper les imaginations populaires. Aujourd'hui encore on y compte les années à partir *de la grande chute des cendres*.

L'éruption du Coseguina (Amérique centrale), survenue le 20 janvier 1835, a réduit la hauteur du cône de 2000^m à 1200^m. Les débris et la pierre ponce ont recouvert la surface de la mer jusqu'à 20° de longitude vers l'ouest. La couche de poussière déposée sur le sol mesurait encore 5^m d'épaisseur à 40^{km} de distance.

Une autre éruption, survenue en Islande en 1875, a été suivie d'une pluie de cendres à Stockholm, à 1900^{km} de distance. Le panache de fumée rejeté en 1877 par le Cotopaxi s'est élevé à une hauteur estimée à 8000^m ou 10000^m.

La colonne émise par l'explosion désastreuse du Krakatoa en 1883 mesurait une hauteur au moins égale. La force d'impulsion était si grande que l'on a vu cette colonne demeurer verticale sur le passage d'un cyclone intense. La masse projetée dans les airs a été évaluée à 18^{km³}, et les couches supérieures de l'atmosphère se sont chargées d'une telle quantité de poussières que la couleur du Soleil en a paru modifiée jusqu'aux antipodes du point de départ. Plus récemment, en 1886, le Tarawera (Nouvelle-Zélande) a dressé son panache de matières pulvérulentes à 13^{km} de hauteur; 200^{km²} de terrain ont été recouverts.

On s'explique sans peine que ces dépôts d'une vaste étendue et d'une faible épaisseur moyenne n'aient pu arriver à constituer des traits stables à la surface de la Terre. Tous se sont produits au bord de la mer, dans des régions pluvieuses, arctiques ou tropicales. Dans le premier cas, la neige a promptement recouvert les cendres; dans le second, les précipitations d'eau les ont entraînées ou incorporées au sol sous-jacent. Les éléments de fertilité apportés par les poussières volcaniques ont contribué à la renaissance de la végétation, qui a rendu au sol, au bout de peu d'années, sa teinte primitive. Mais sur la Lune, aucune cause connue ne s'oppose à la conservation presque indéfinie d'un dépôt de cendres superficiel.

Le principal agent des explosions volcaniques paraît être la vapeur d'eau surchauffée. Il n'est pas nécessaire que les masses d'eau mises en jeu soient considérables. Il suffit de concevoir qu'elles aient formé par infiltration des poches intérieures, et que celles-ci se soient trouvées en contact avec des roches d'une température élevée. La production brusque d'une quantité modérée de vapeur

(1) M. de Lapparent, à qui nous empruntons la plupart de ces faits, imprime 140^{km}, erreur typographique facile à reconnaître à l'inspection de la carte.

d'eau pourra donner lieu à des effets mécaniques extrêmement intenses. Les couches de terrain interposées entre l'air libre et la nappe d'eau souterraine n'auront pas le temps de se soulever par exhaussement régulier. Elles seront arrachées violemment et réduites en menus débris. Dans le cas où des explosions semblables se seraient produites sur la Lune, il est naturel de chercher si elles n'auraient pas laissé des traces reconnaissables. On conçoit sans peine que les matériaux projetés n'auront pas atteint des dimensions assez fortes pour être visibles isolément. Sur les points où les débris se seront entassés en grande quantité, ils auront formé des couches d'épaisseur appréciable, mais amincies sur les bords, et par suite difficiles à distinguer du relief antérieur du sol. Au contraire, les poussières étalées sur un large espace auront pu en modifier complètement l'aspect, et la distribution de ces teintes anormales devra être en relation manifeste avec le centre de l'explosion.

Or, il est impossible de jeter les yeux sur une photographie de la Lune, prise dans la période qui avoisine l'opposition, sans y remarquer de vastes traînées, d'une couleur plus claire que le sol environnant, et qui vont en divergeant à partir d'un petit nombre de centres. Sept des grands cirques lunaires présentent ce phénomène à un degré très marqué. Les traînées les plus nombreuses et les plus étendues rayonnent autour du cirque de Tycho, et quelques-unes embrassent presque toute la demi-circonférence visible de la Lune. Au voisinage du cirque central, ces traînées se fondent en une nappe unique, sorte de large auréole brillante. A quelque distance du point de départ, elles se séparent et tracent des rayons divergents, souvent divisés en plusieurs branches ou légèrement déviés de leur direction primitive, sans toutefois qu'il puisse s'élever aucun doute sur leur origine. Elles franchissent en général les inégalités du sol sans paraître influencées ou déviées par elles, mais leur tracé ne correspond ni à un exhaussement ni à une dépression appréciable. Toujours décelées par leur teinte plus claire, elles peuvent être suivies à travers les régions les plus accidentées, sous un éclairage favorable. Elles se voient cependant mieux encore en pays de plaine; aussi les cirques de Copernic et de Képler, isolés au milieu de surfaces à peu près unies, sont-ils ceux qui montrent le plus clairement la forme et la ramification des traînées. En dehors des principaux centres de radiation, on peut en compter un assez grand nombre qui émettent seulement quelques traînées de faible étendue. Dans cette catégorie, on peut citer Proclus, dont les étoilements laissent un large espace vide de 120° d'ouverture, et le double cirque de Messier, dont la traînée bifurquée simule si bien une queue de comète.

On a signalé, comme offrant une apparence du même genre, les cassures divergentes produites dans une lame de verre par le choc d'un projectile animé

d'une faible vitesse. Mais cette analogie nous semble bien superficielle et ne s'applique, en somme, qu'à la disposition rayonnante. Les traînées en question sont de larges nappes couvrant des centaines de kilomètres carrés. Rien ne permet de les assimiler à d'étroites fissures. Il nous semble impossible qu'un choc assez puissant pour briser l'écorce de la Lune sur une moitié de sa circonférence n'amène aucune différence de niveau appréciable entre les deux bords de la cassure. Des déchirures bien visibles devraient exister au moins au voisinage du centre de radiation. L'existence même de projectiles capables de produire des effets mécaniques aussi intenses ne s'appuie sur aucun fait observé. Il n'est guère admissible que la Lune ait subi de pareils chocs à plusieurs reprises, alors que l'écorce terrestre ne garderait aucune trace de rencontres analogues.

Pour le capitaine Rozet, les étoilements sont bien des fissures; mais, au lieu d'attribuer leur naissance à la rencontre d'un projectile, il y voit l'effet d'une rupture locale, produite par un excès de pression intérieure sur une croûte déjà épaissie. Au fond, cela revient à faire de chaque système de traînées divergentes le résultat immédiat d'une explosion ayant eu pour siège le cratère central. Ici encore toutes les analogies terrestres sont en défaut. Les éruptions volcaniques dont on a été à même d'étudier la marche n'ont pas disloqué la croûte ni dérangé l'horizontalité des stratifications qu'elles ont traversées. Elles ont profité seulement des dislocations antérieures pour s'ouvrir une route et n'ont produit d'effets mécaniques de quelque intensité qu'au voisinage immédiat de l'orifice. Quelle violence ne faudrait-il pas supposer aux explosions survenues à la surface de la Lune pour admettre qu'elles aient déchiré l'écorce sur 1000^{km} de longueur ou davantage? Et comment concevoir que des dislocations aussi étendues aient respecté la continuité du relief antérieur? Si le cirque central est supposé préexistant, la régularité de sa forme primitive aurait été profondément bouleversée. Si l'on considère le cirque comme produit par l'explosion elle-même, il est incompréhensible qu'il offre un rempart continu et qu'à chacune des fissures divergentes ne corresponde pas une brèche profonde. D'ailleurs, redisons-le encore une fois, les traînées divergentes n'offrent nulle part l'aspect de crevasses. Ce sont de larges nappes allongées, couvrant une superficie égale à celle du bassin d'un grand fleuve.

Le professeur Suess, préoccupé avec raison de la teinte spéciale de ces traînées, toujours plus claires que le sol environnant, a pensé qu'elles devaient être dues à des émanations de vapeurs analogues à celles que l'on observe au voisinage des volcans actifs, et que l'on nomme en Italie *fumerolles* ou *solfatares*. Ces émanations se font jour à travers des fissures étroites. Brusquement refroidies au contact de l'air extérieur, elles déposent par sublimation, sous forme de lamelles

cristallines, des minéraux variés tels que du fer oligiste, du chlorure de plomb, de l'acide borique. Des espaces considérables de terrain au voisinage de la fissure peuvent ainsi revêtir des teintes inusitées, qui tranchent sur leur aspect primitif. Ce phénomène n'est pas rare à la surface de la Terre, et se produit même au voisinage des volcans qui n'ont donné depuis longtemps aucun autre signe d'activité. A la vérité, on ne peut citer aucun cas où il ait embrassé une étendue comparable à celle des traînées lunaires, mais cette difficulté ne doit pas sembler insurmontable, puisqu'il s'agit d'expliquer une différence de degré et non de nature.

Une quatrième hypothèse, enfin, consiste à regarder ces traînées comme des dépôts de poussières, résultant d'une explosion qui aurait eu pour siège le cratère central, et transportés au loin par les vents. L'expérience montre que des matériaux suffisamment ténus peuvent demeurer longtemps en suspension dans une atmosphère de densité comparable à celle que la Terre possède aujourd'hui. Rien ne prouve que la Lune ne se soit pas trouvée autrefois dans ces conditions, et le professeur Suess croit même pouvoir dire que son relief actuel est inexplicable, si l'on ne suppose pas mises en jeu des quantités importantes de vapeur d'eau. Une chute de cendres ainsi provoquée peut changer complètement la teinte du sol sans en modifier notablement le relief. A l'exemple déjà cité de l'Hécla, nous en joindrons un autre qui nous est fourni par le professeur Suess lui-même. Une éruption survenue le 7 septembre 1873 a couvert l'une des îles Lipari d'une couche de cendres blanches mesurant 3^{cm} à 4^{cm} d'épaisseur, et donnant à quelque distance l'illusion d'une chute de neige (¹). Sur la Lune, de pareils dépôts pourraient atteindre 100^m de puissance sans donner lieu à des élévations de terrain appréciables pour nous, surtout si leur épaisseur va en décroissant vers les bords.

Le professeur Suess croit cependant devoir écarter l'explication dont il s'agit : d'une part à cause de la grande accumulation de cendres qui aurait dû se produire au voisinage du cratère central, et qu'en fait l'on n'observe pas ; de l'autre, parce qu'une origine éruptive ne rend pas compte, selon lui, de la disposition rayonnante. Examinées de près, ces deux objections ne nous paraissent nullement décisives.

L'émission d'une grande quantité de poussières suppose, en effet, ou l'écrasement complet de matériaux résistants, ou une brusque détente, capable de ramener presque instantanément des particules liquides ou gazeuses à l'état solide.

(¹) A. BALTZER, *Zeitschrift der deutsch. geol. Gesellschaft*, 1875-1878.

Dans les deux cas, il faut admettre un violent dégagement de gaz ou de vapeurs, pouvant porter immédiatement à une altitude considérable les poussières produites. Ainsi se forment ces apparences de panache ou de pin parasol, signalées au début des grandes éruptions. Les matériaux légers auront pu être portés sur la Lune à des hauteurs encore plus grandes que dans le cas des volcans terrestres; car, d'une part, la pesanteur est moindre à la surface de la Lune et, de l'autre, la densité de l'atmosphère devait y décroître moins rapidement avec l'altitude. Le nuage de poussière, aussitôt formé, est saisi par les courants atmosphériques, qui l'éparpillent et le transportent au loin. Ce n'est qu'au bout d'un temps assez long que ces fines particules, cédant à l'action de la pesanteur, viendront de nouveau rencontrer le sol. Que l'éruption tende à se calmer, les poussières tomberont de plus en plus près du lieu d'origine, qui finira par en recevoir aussi sa part, mais ce ne sera, on le comprend, qu'une fraction de l'émission totale, fraction d'autant plus faible que la durée de l'éruption sera plus longue et l'atmosphère plus agitée.

D'ailleurs, est-on fondé à dire que les cendres n'ont pas recouvert le cratère central? Le contraire semble résulter d'un examen attentif. Sans doute la chute des poussières n'a pas été abondante au point de faire disparaître les grandes inégalités du sol. Mais la teinte claire qui caractérise les trainées domine sans conteste près de leur lieu d'origine. On voit les rayons qui convergent vers Copernic, vers Képler, augmenter de largeur à mesure qu'ils se rapprochent de leur centre, et ne plus former qu'une nappe ininterrompue. Le phénomène est moins apparent dans la région de Tycho, qui est profondément bouleversée. On a cependant remarqué depuis longtemps que cette région acquiert un éclat très vif et presque uniforme dès que le Soleil est assez élevé pour en faire disparaître les ombres. Alors même que l'existence de taches obscures au voisinage de Tycho serait établie, ne peut-elle pas s'expliquer aisément par des causes locales qui auraient balayé les cendres, ou les auraient recouvertes d'une nouvelle couche de matériaux de couleur plus sombre? Beaucoup de cratères, du reste, paraissent former le centre d'une plage brillante : les cirques de Dawes et de Delambre en offrent des exemples très nets, sans parler d'une multitude de petites formations anonymes.

Reste à expliquer la disposition linéaire. Le fait de la dissémination d'une matière donnée sur une grande étendue, suivant une direction invariable, indique l'action d'une force dont les effets rencontrent peu d'obstacles. Tels sont les grands courants atmosphériques, moussons ou vents alizés, qui peuvent s'étendre sans déviation sur une fraction importante de la circonférence du globe terrestre.

On conçoit que si la Lune a possédé une atmosphère, des courants semblables ont dû s'y produire, car sa surface est encore plus inégalement échauffée que celle de la Terre. Les cratères qui n'offrent de traînées que dans une direction unique, comme les cirques de Messier, auraient accompli leur émission de cendres sous l'influence d'un courant déterminé. Les cirques à traînées divergentes, comme Tycho ou Copernic, auraient prolongé leur action sur une période plus étendue, où les vents auraient soufflé successivement vers tous les azimuts. Les traînées les plus longues et les plus fournies correspondraient soit à l'époque de l'éruption la plus active, soit à la direction des vents qui ont dominé dans la région. Le croisement de traînées provenant de centres distincts indique qu'elles ne sont pas contemporaines, et qu'elles se sont déposées sous l'influence de courants atmosphériques de directions différentes. Si les traînées ne sont pas absolument rectilignes, c'est que la direction des vents régnants en un point quelconque varie avec les coordonnées sélénographiques de ce point. S'il leur arrive de s'éparpiller, de se partager, de dévier brusquement, c'est qu'il y a eu, au point correspondant, conflit ou superposition de deux vents d'orientation différente. Les annales météorologiques fourniraient en abondance des exemples de faits analogues.

On trouvera peut-être anormal que certaines de ces traînées semblent s'atténuer et s'amincir vers leur extrémité. Un nuage de poussière ou de fumée, soulevé par le vent à la surface du sol, montre en effet une tendance à peu près constante à s'élargir. Mais la force d'impulsion si énergique qui se manifeste dans les cheminées volcaniques nous place ici en dehors des conditions habituelles d'expérience. La distance à laquelle vont se déposer les poussières dépend évidemment de la hauteur qu'elles ont primitivement atteinte. Or, dans une colonne chassée avec violence par un étroit orifice et jaillissant à 10^{km} ou 12^{km} de hauteur, une très petite fraction des matériaux atteint seule l'altitude extrême. C'est un fait d'observation vulgaire que les jets d'eau lancés verticalement se terminent en pointe. A mesure que l'on s'éloignera de l'orifice central, la traînée ne comprendra plus qu'une fraction rapidement décroissante de la masse totale, et sa largeur devra en fin de compte diminuer jusqu'à zéro.

Nous doutons fort que l'on puisse également bien rendre compte de la propagation d'une fissure rectiligne à travers une partie importante de l'écorce solide d'une planète. La force qui aurait produit cette fissure eût rencontré sur son chemin des résistances énormes et fréquemment variables, puisque nous voyons les traînées franchir sans déviation des différences de niveau de plusieurs milliers de mètres. Dans ces conditions, la probabilité d'une marche rectiligne

devient excessivement faible : l'existence et l'épaisseur du dépôt superficiel devraient être subordonnées dans une large mesure au relief du sol. On ne comprend pas davantage qu'une crevasse assez étroite pour demeurer invisible sur tout son parcours émette des matières assez abondantes pour couvrir une bande de 40^{km} ou 50^{km} de largeur. Il semble nécessaire de faire intervenir de nombreuses fissures pour la production de chaque traînée. Et comment expliquer alors qu'à ces fentes, formées en abondance dans certaines directions, manquent absolument dans les intervalles qui séparent les bandes? D'où vient que leur orientation est encore, à 1000^{km} de distance, en relation visible avec la position du cratère central?

Une autre considération peut guider notre choix entre les deux théories. Si, comme l'admet le professeur Suess, la blancheur des traînées est due à des émanations produites tout le long de leur parcours, il n'y a pas lieu de supposer que le cratère central ait été soumis à une contribution particulièrement forte. Si, au contraire, comme nous le croyons, les traînées représentent des matériaux venus exclusivement de la région où elles convergent, la couche située sous l'écorce solide a dû perdre, notamment aux environs de Tycho ou de Copernic, des fractions importantes de sa masse. Dût-on n'attribuer aux traînées de Tycho que $0^{\text{m}}, 50$ d'épaisseur moyenne, et il semble difficile qu'avec une puissance moindre elles aient pu couvrir uniformément des pentes rapides et accidentées, leur cube total n'atteindrait pas moins un chiffre formidable. Les portions restreintes qui ont dû subvenir aux frais de pareilles émissions ont dû, une fois la force éruptive calmée, contenir de vastes cavités intérieures et se trouver toutes préparées pour un nouvel affaissement. Or il existe de très sérieux indices donnant à penser que, vers le point d'origine des traînées, un abaissement général du sol a succédé aux phénomènes éruptifs. On constate autour de Tycho une vaste dépression en forme de parallélogramme (*Pl. XV*). L'existence de ce contour rectiligne n'est pas un fait isolé, et l'on peut le rattacher, comme nous le verrons au Chapitre VII, à un réseau plus étendu. Mais le fait que nous voulons retenir ici, et qui nous semble tout à fait manifeste, est celui d'une dépression générale dont Tycho occupe approximativement le centre et dont la profondeur moyenne peut être évaluée, sans exagération, à plusieurs centaines de mètres. Son volume, réparti sur toute l'étendue des traînées, donnerait une couche appréciable et suffisante, en tout cas, pour expliquer le changement de couleur du sol.

L'examen des pentes extérieures de Copernic (*Pl. I*) fournit des indications moins apparentes, utiles cependant à recueillir. Nous voyons sur ces pentes,

dont l'inclinaison générale est douce et assez régulière, de nombreuses coulées divergentes d'un relief nettement appréciable. Ainsi que pour Aristote (*Pl. IX*) ou Aristillus (*Pl. II*), on peut considérer ces rayons comme des arêtes formées par érosion ou comme des coulées de lave, l'absence de thalweg net et la prédominance des formes bombées faisant plutôt pencher pour la seconde hypothèse. Or il se trouve que les rayons, dirigés suivant les lignes de plus grande pente, ne présentent pas la continuité absolue à laquelle on devrait s'attendre. Nous les voyons à plusieurs reprises interrompus par des coupures circulaires qui dessinent à peu près des lignes de niveau. Leur versant le plus rapide et le plus accusé est tourné vers le centre du cirque, comme celui du rempart central dont elles semblent des éditions affaiblies. Il nous semble logique de regarder chacun de ces mouvements du sol comme l'indice d'un affaissement général du cirque de Copernic, survenu postérieurement à l'émission des cendres, et provoqué par une diminution rapide de la pression intérieure. Ce qui vient d'être dit de Copernic s'applique mot pour mot à Aristillus. Nous le voyons apparaître sous un éclairage normal comme le centre d'émanation de traînées divergentes. Éclairés obliquement, ses flancs se montrent sillonnés de coulées de lave, et traversés par deux sillons concentriques, qu'il est difficile d'interpréter autrement que comme des signes d'affaissement.

On peut encore, croyons-nous, trouver ailleurs les signes d'affaissements étendus, mais prononcés dans le sens vertical, portant spécialement sur des parties montagneuses et volcaniques. Nous citerons, comme étant dans ce cas, le vaste triangle formé par la partie nord des Apennins, à l'est de la mer de la Sérénité (*Pl. II*). Le caractère volcanique de cette région est indiqué par la présence de plusieurs cratères de sommet, petits orifices circulaires placés sur des élévations coniques avec coulées divergentes, par la teinte claire répandue sur tout cet ensemble de montagnes, et qui correspondrait à un dépôt général de cendres, particulièrement abondant au nord d'Aratus. Or si nous cherchons à fixer les limites de ce pâté de montagnes, nous trouvons qu'il ne se raccorde pas par des pentes douces aux plaines qui l'entourent vers le Nord, mais qu'il semble y plonger brusquement et y dissimuler ses assises inférieures. Le même caractère appartient, comme l'on sait, aux contreforts du versant italien des Alpes, et a conduit les géologues modernes à admettre qu'il y avait eu affaissement général de la chaîne postérieurement à la fixation du niveau des plaines. Ainsi s'expliquerait la dépression du lac Majeur et du lac de Garde au-dessous même du niveau des mers. Nous pouvons donc énoncer avec vraisemblance la même conclusion en ce qui concerne les Apennins lunaires. Ici même une autre

circonstance bien digne d'attention vient à l'appui de la première. Nous voyons courir sur la mer de la Sérénité (*Pl. IV*), parallèlement à la base des Apennins, une dénivellation peu considérable en hauteur, mais nettement linéaire. La pente en est tournée vers les Apennins, de manière à isoler à leur base une bande déprimée au-dessous du niveau de la plaine voisine, à peu près comme les chotts sahariens au pied des monts Aurès. Il semble donc bien que le dernier mouvement important du sol a consisté dans un affaissement général de la région volcanique, entraînant avec elle la portion contiguë de la plaine. Cet affaissement lui-même serait le résultat de la formation d'une cavité intérieure, consécutive à l'émission des cendres.

Interprétés comme nous l'avons fait, les grands étoilements de la Lune fournissent immédiatement des indications précises sur l'âge relatif des régions qu'ils recouvrent. Leur existence ininterrompue sur la plaine intérieure d'un cirque montre que cette plaine s'est consolidée et fixée à son niveau actuel antérieurement à l'éruption dont la traînée est la conséquence. C'est ainsi que Stœfler et la mer des Nuées semblent plus anciens que les émanations rayonnantes de Tycho. Apianus, au contraire, qui en interrompt le tracé, remonterait à une antiquité moindre. La teinte relativement sombre qui se remarque dans beaucoup de bassins déprimés indiquerait que, fluides encore à l'époque des grandes chutes de cendres, ils ont échappé au revêtement qui s'est étendu à toutes les parties solides précédemment émergées. Les taches noires, circulaires, sans relief appréciable, que l'on voit à l'intérieur d'Alphonse (*Pl. VII*) et de Catharina (*Pl. V*), ou en certains points de la mer des Pluies, indiqueraient qu'à l'époque dont il s'agit la consolidation de ces plaines n'était pas achevée.

La formation des traînées correspondrait donc à une période initiale d'activité volcanique, caractérisée par la production d'explosions violentes et la projection de nuages de poussière à de fortes altitudes. De telles explosions supposent, il est vrai, l'intervention de la vapeur d'eau, mais pas nécessairement en grande quantité. Et d'ailleurs, comme l'a remarqué le professeur Suess, il semble qu'il faille renoncer à donner, sans recourir à la vapeur d'eau, une explication vraisemblable du relief actuel de la Lune. On objectera peut-être que nous avons refusé le caractère de volcans aux grands cirques de la Lune. Or Tycho, Copernic, Képler, Aristarque, qui émettent les traînées les plus visibles sont justement des cirques de grande dimension. Mais il n'est nullement nécessaire de supposer que l'émission des poussières se soit faite à la fois dans toute l'étendue du cirque. Les ouvertures circulaires, à bords nets, ayant pu servir de bouches d'explosion, ne manquent point aux alentours. La dépression princi-

pale, profonde et crevassée, a dû elle-même constituer longtemps un point faible de l'écorce. Un ou plusieurs orifices ont pu s'y former et disparaître ensuite sous l'accumulation des matériaux qu'ils ont eux-mêmes rejetés. Nombre de formations importantes, semblables à beaucoup d'égards à Tycho, n'émettent pas de traînées. On n'est donc pas fondé à établir une relation constante et directe entre ces grands cirques et les émissions de poussières. Mais d'autres indices d'actions volcaniques peuvent être relevés autour des grands cirques, et nous aider à préciser les notions que nous avons antérieurement acquises sur leur structure et leur histoire.



CHAPITRE VI.

DES TRACES D'ACTIONS VOLCANIQUES A LA SURFACE DE LA LUNE (SUITE).

Les considérations que nous avons présentées au Chapitre précédent nous autorisent à considérer nombre de points de la Lune comme ayant été le siège d'une activité volcanique intense. Cette activité se serait manifestée comme sur la Terre, par la production successive ou simultanée, dans un espace restreint, de plusieurs bouches d'explosion. Les dépôts de poussière sont, en raison de l'étendue qu'ils occupent, les plus aisément perceptibles de toutes les formations volcaniques. Mais il est à prévoir que les fissures, les cônes de scories, les coulées de lave, doivent aussi se rencontrer à la surface de la Lune; leur présence, si elle peut être constatée d'une manière indubitable, sera une forte confirmation de l'hypothèse volcanique; et si ces formations semblent relativement moins développées que sur notre globe, il faudra en conclure que les éruptions lunaires ont revêtu surtout la forme explosive.

A l'appui de cette manière de voir on peut apporter deux raisons: l'une théorique, c'est que la pesanteur, étant six fois moindre sur la Lune que sur la Terre, est beaucoup moins capable d'y contrebalancer la force expansive des gaz et des vapeurs. Chaque fois que les vapeurs surchauffées se sont accumulées en masses importantes, la partie superposée de la croûte a pu être violemment arrachée; les matériaux solides ou pulvérulents ont été dispersés au loin, sans pouvoir former d'accumulations appréciables au voisinage de l'orifice. Il est à noter encore que, si l'éruption s'est produite dans une atmosphère déjà très raréfiée, la pression initiale à vaincre, et la résistance au mouvement des projectiles se sont trouvées atténuées en conséquence. Les produits de l'explosion ont dû, par suite, être disséminés sur un vaste espace.

Un autre argument, celui-là tangible et indéniable, consiste dans la multiplicité surprenante, à la surface de la Lune, d'entonnoirs nettement circulaires, dénués de rebord saillant et de piton central. Ces orifices se distinguent par ces deux caractères aussi bien des cirques proprement dits que des cratères volcaniques. Presque absents dans certaines parties de la Lune, ils deviennent très abondants dans d'autres régions, qui en sont littéralement criblées. Les environs d'Eratosthène (*Pl. I*), de Stœfler, de Maurolycus (*Pl. XI*), sont particulièrement curieux à étudier à ce point de vue. La dimension de ces orifices peut

descendre à la limite de visibilité, ou s'élever à une dizaine de kilomètres de largeur. Au delà, il est rare que l'on n'aperçoive pas un rebord saillant plus ou moins accusé, donnant des formes de transition, malaisées à distinguer des cirques et des cratères. Il semble que ces entonnoirs sans rebord soient le résultat d'explosions soudaines et violentes. Les orifices entourés d'un bourrelet indiqueraient l'emplacement d'une explosion moins brusque, précédée d'un gonflement avant-coureur de la croûte solide.

Il est à noter que les parages où abondent les entonnoirs sans rebord présentent un caractère confus et hérissé. Le relief du sol n'y obéit à aucune loi saisissable. On n'y reconnaît point de formations régulières, lentement étagées sous l'influence de la pesanteur. Il semble qu'on ait sous les yeux un entassement confus de matériaux jetés sans ordre, tel qu'on pourrait l'observer autour du théâtre d'une série d'explosions successives. Toutes ces remarques tendent évidemment à faire accepter comme réelle l'origine que nous attribuons ici aux entonnoirs circulaires.

Dès que l'activité d'un volcan commence à baisser, la force éruptive devient insuffisante pour projeter à de grandes distances les matériaux solides. Ceux-ci s'accumulent autour du point d'émission, et forment une éminence conique, souvent d'une extrême régularité. L'ouverture primitive acquiert aussi l'apparence d'un cône renversé, dont le volume n'est, en général, qu'une faible fraction de celui du cône saillant. Il résulte d'une remarque faite tout à l'heure que, sur la Lune, la proportion pourra être toute différente. Les matériaux étant plus aisément rejetés à grande distance, la construction du cône ne commencera que vers la fin de l'éruption. L'ouverture centrale s'encombrera moins et gardera des dimensions relatives plus fortes. Ainsi s'expliqueraient les nombreux cônes saillants, creusés à leur cime, que nous observons sur la Lune. Pour beaucoup, l'ouverture du sommet touche à la limite des objets perceptibles; quand on ne peut l'apercevoir, la nature volcanique du cône est encore rendue vraisemblable par l'existence de traînées divergentes ou d'une tache claire dont il forme le centre. Quand le cratère atteint une certaine étendue, on reconnaît qu'il offre une dépression comparable ou même supérieure à la saillie du bourrelet qui l'environne. Les grands cratères constituent ainsi des types intermédiaires entre les volcans terrestres et les cirques lunaires, sans que l'on puisse trouver nulle part une ligne de démarcation bien précise. S'il existe entre les volcans lunaires et terrestres une différence de forme systématique, il est à prévoir qu'elle se manifestera dans le sens que l'observation nous révèle. Mais, d'autre part, on ne doit pas oublier que les cônes volcaniques réguliers attei-

gnent rarement sur la Terre les dimensions qui permettraient de les caractériser et de les étudier à la distance qui nous sépare de la Lune.

La formation des cônes volcaniques est communément accompagnée ou suivie d'épanchements de laves. Ces matières fondues, de consistance pâteuse, tenant en dissolution une forte proportion de gaz ou de vapeur d'eau, se font jour soit par une brèche latérale dans le cratère du sommet, soit, plus fréquemment, par des crevasses ouvertes sur ses flancs. Elles se distinguent sans peine, à la surface de notre globe, des formations sédimentaires; moins nettement des matériaux plus anciens, d'origine également éruptive. La coulée la plus considérable que l'on ait vue se produire, paraît être celle qu'a émise, en 1783, le volcan islandais de Skaptar-Jökul. Sa longueur est de 80^{km}, son épaisseur moyenne de 150^m, et l'évaluation la plus modérée de son volume, celle de M. Thoroddsen, le porte encore à 12^{kmc}. Mais ce dernier chiffre lui-même est exceptionnel, et l'on peut dire que la plupart des coulées de lave connues, transportées sur la Lune, y seraient difficiles à reconnaître, même en supposant qu'elles se différencient nettement par leur teinte du sol environnant. Il est à croire aussi que leur forme générale serait tout autre. Sur un terrain incliné, la pesanteur tend à précipiter le mouvement des laves et à les allonger en coulées étroites. En plaine, la viscosité des matières fondues, la résistance des obstacles naturels tendent, au contraire, à ralentir la marche des laves, et provoquent la formation de larges nappes, de figure indécise, limitées à une moindre distance du point de départ, mais pouvant, en revanche, acquérir une grande épaisseur. Vu la faiblesse relative de la pesanteur à la surface de la Lune, il est évident que la seconde forme y prédominera toutes les fois que la pente du sol ne sera pas très accusée.

Cette induction est pleinement justifiée par les faits. Nous ne pouvons relever sur la Lune qu'un petit nombre de coulées étroites, analogues à celles qui sillonnent les flancs des monts d'Auvergne ou de l'Etna. En revanche, les épanchements de matières pâteuses solidifiées en larges nappes, y sont presque partout reconnaissables. Ces dépôts, plus récents que le sol qu'ils ont recouvert, s'en distinguent en général par une teinte plus claire. Ils se terminent, dans les plaines, par un front étendu, plus ou moins rectiligne; et dont l'épaisseur est accusée, sous un éclairage oblique, par une ligne d'ombre. Leur origine est moins facile à déterminer. Parfois, on peut reconnaître avec certitude que les laves ont pris naissance dans des fractures ou crevasses anciennes de l'écorce lunaire. La disposition de ces crevasses est, comme nous l'avons indiqué au Chapitre II, concentrique à celle du rivage des mers. L'affaissement du sol, qui leur a donné naissance, a dû établir une certaine différence de niveau entre les deux bords. L'écoulement des laves s'est alors produit d'un seul côté, et une

différence de teinte prononcée existe entre les deux rives. Souvent, ce contraste de couleur entre deux régions contiguës s'accuse sans que l'on puisse tracer à la limite une fissure visible. Mais cette circonstance n'a rien qui doive surprendre, car on sait, par l'observation des volcans terrestres, que d'énormes masses de lave peuvent se faire jour, avec le temps, par des ouvertures relativement faibles.

Vers le centre des régions déprimées, la pente est insuffisante pour déterminer le sens de l'écoulement des laves. Elles débordent alors des deux côtés de la fissure, la recouvrent en entier et laissent, en se solidifiant, un bourrelet saillant qui en marque le parcours. Tel est l'origine de l'aspect veiné qu'offrent sous un éclairage rasant la plupart des mers. Il est fréquent de constater, sur ces bourrelets, la présence de cônes saillants, percés de cratères, qui sont le témoignage d'une force éruptive demeurée en activité après l'obstruction de la fissure. Cette disposition, commune dans les régions volcaniques de l'Islande, d'après M. Thoroddsen ⁽¹⁾, se reconnaît très bien dans les levées concentriques de la mer des Humeurs (*Pl. VI, XII*), et dans celles de la mer des Pluies, au sud du golfe des Iris.

Si nous voulons trouver des coulées de lave bien reconnaissables, il faut les chercher là où l'inclinaison du sol se continue dans le même sens sur de grands espaces, c'est-à-dire sur la pente extérieure des grands cirques isolés. Aristillus (*Pl. II*), Aristote (*Pl. IX*), Bouillaud (*Pl. XII*), Copernic (*Pl. I*), fournissent sous ce rapport les exemples les plus instructifs. Les sillons que l'on voit diverger autour d'eux sous un éclairage convenable, dessinent approximativement des lignes de plus grande pente. On n'y voit point de thalweg net, point de système de vallées convergentes, comme cela devrait être s'il s'agissait d'un travail d'érosion. L'aspect général est plutôt celui de dos légèrement saillants qui, au début, courent parallèlement et, à mesure qu'ils descendent, s'épanouissent, se bifurquent et s'enchevêtrent. Dans aucun cas, croyons-nous, on ne peut faire remonter le tracé de ces courants jusqu'au rebord même du cirque. On aurait donc tort de se les figurer comme l'épanchement d'un lac qui aurait rempli toute la dépression centrale. Il semble plutôt que les coulées de lave aient pris naissance dans des crevasses ouvertes à diverses hauteurs sur les flancs de la montagne. Tous ces faits sont bien d'accord avec les observations faites lors des diverses éruptions de l'Etna.

Dans les régions hérissées de montagnes, les épanchements de lave ont dû

⁽¹⁾ TH. THORODDSEN, *Reyse i Vester Skaptafells Syssel paa Island i Somm.* 1893 (cité par le professeur Suess).

également se produire. Mais aucun système régulier de vallées n'étant formé, à l'avance, pour les recevoir, ils se sont vus arrêtés, dès le début de leur course, par des obstacles multiples. Ils ont dû s'accumuler en masses épaisses, combler les dépressions rencontrées sur leur route, et perdre ainsi le caractère linéaire qui nous permettait de les reconnaître. Il ne semble pas non plus que les petits cônes isolés ou les pitons intérieurs des cirques aient possédé des réservoirs assez abondants pour donner naissance à de vastes épanchements de lave. On peut citer cependant quelques petites formations qui semblent émettre, à la fois, des traînées divergentes et des coulées à relief sensible. De ce nombre sont l'éminence centrale du cirque incomplet situé immédiatement à l'est d'Azophi (*Pl. XIII*) et un petit cratère visible sur la partie sud du rempart de Catharina (*Pl. V*).

Faute de moyens optiques assez puissants, nous ne pouvons exiger ni la présence des coulées de lave, ni celle de crevasses étoilées comme le criterium constant et indispensable de l'activité volcanique. C'est la teinte claire du sol, si manifeste dans les traînées divergentes, qui doit, à cet égard, fixer notre jugement. Nous trouvons cette teinte, à peu près sans exception, sur les petits cônes isolés, pourvus ou non de cratères. Nous la voyons encore sur les montagnes centrales de presque tous les cirques. Ces élévations ne se rattachent d'ailleurs, en aucune manière, au relief environnant. Leur forme ne permet pas de les expliquer par des érosions, des fractures ou des plissements généraux de l'écorce. Nous sommes donc presque forcément amenés à considérer les sommités centrales des cirques comme de nature volcanique, et cela que nous puissions ou non distinguer un cratère à leur cime. D'autre part, la présence d'un foyer d'éruption au centre de la plupart des cirques, ne peut être considérée comme un effet du hasard. Autant la distribution des bouches volcaniques à la surface de la Terre est capricieuse et compliquée, autant la présence d'une cime isolée vers le centre d'un cirque est un fait habituel et régulier. Jamais, pour ainsi dire, la montagne centrale ne fait défaut sans que la raison de son absence ne soit apparente. Tous les cirques qui en sont dépourvus ont, soit de petites dimensions, soit une dépression relativement faible, avec un aspect uni qui révèle un épanchement très abondant de matières liquides. Dans le premier cas, l'éminence centrale peut exister sans être visible. Dans le second cas, elle a dû disparaître par submersion. Il y a donc lieu d'établir une relation constante et directe entre l'affaissement qui a donné naissance au cirque, et le soulèvement dont les montagnes centrales seraient les témoins.

Nous avons indiqué au Chapitre IV comment on pouvait rattacher le second phénomène au premier, à titre de conséquence. Il est certain que l'effondrement

circulaire étant produit, la partie centrale constitue un point faible, lieu d'élection naturel pour les affaissements et les soulèvements ultérieurs. Plus profondément disloquée, plus libre de ses mouvements, elle exécutera dans le sens vertical des déplacements plus amples que toute autre région du cirque. Cette explication ne fait pas néanmoins disparaître toute difficulté. Il est assez malaisé de comprendre comment le dernier mouvement du sol, celui dont nous constatons le résultat, aurait toujours été ascendant, pendant que la tendance générale de l'écorce lunaire est de se contracter. Il semble aussi que le soulèvement aurait dû porter sur tout l'intérieur du cirque, abstraction faite d'une bande étroite demeurée adhérente aux bords, et ne pas s'accuser d'une manière aussi spéciale dans la région du centre. En présence d'inconnues aussi nombreuses, nous ne saurions nous dispenser d'examiner aussi l'hypothèse contraire, c'est-à-dire de nous représenter les cirques lunaires comme le résultat d'un vaste soulèvement, embrassant la formation tout entière, et suivi d'un affaissement presque général, laissant toutefois, dans la majorité des cas, subsister la périphérie à l'état de rempart, et la partie centrale ou culminante à l'état de cône volcanique. Or, il se trouve que cette manière d'envisager la succession des faits est en complet accord avec le caractère éruptif que nous avons reconnu aux montagnes centrales, relie ensemble, de la manière la plus satisfaisante, presque toutes les particularités observées dans les cirques, et n'exige l'intervention d'aucune force que nous ne puissions voir à l'œuvre sur la Terre.

Pour nous, chaque cirque de la Lune représente l'emplacement d'un vaste cône volcanique à pentes douces, tel que ceux dont l'Etna est le type le mieux étudié. L'espace occupé par le cône de l'Etna est approximativement circulaire. Son diamètre, mesuré de Catane à Randazzo, atteint 42^{km} . Les cônes du Kilima-Njaro dans l'Afrique centrale, du Mauna Loa dans les îles Sandwich, sont plus puissants encore et comptent 300 à 400^{km} de tour. La formation de volcans deux ou trois fois plus vastes ne saurait être considérée comme une impossibilité, si l'on remarque que des forces éruptives analogues n'ont eu à vaincre, sur la Lune, qu'une pesanteur six fois moindre. Que l'on regarde un pareil cône comme le résultat d'un soulèvement d'ensemble ou comme le produit accumulé des déjections du sommet, il est certain que les éruptions successives doivent tendre à créer, sous la partie centrale, une vaste cavité. Les émissions de vapeurs, de cendres, de pierre ponce et de lave peuvent, comme nous le voyons sans sortir d'Europe, se continuer pendant plusieurs siècles. L'insuffisance de pression qui en résulte ne saurait être indéfiniment réparée. L'intérieur d'un globe planétaire n'est pas, en effet, un réservoir de fluides en libre communication. Sans invoquer des raisons tirées de la Mécanique céleste qui combattent

XXII.

C.7

cette manière de voir, il est certain que les émissions continuelles de vapeurs, qui se font dans les îles de Stromboli et de Volcano, n'empêchent nullement les cratères du sommet de l'Etna, tout voisins et beaucoup plus élevés, d'entrer en éruption à leur tour. Réciproquement, l'Etna peut déployer une extrême activité, sans qu'aucun signe analogue se manifeste au Vésuve. C'est donc une région restreinte qui devra subvenir seule aux frais de ces émissions multiples. Si elles sont assez abondantes, la pression intérieure tombera au-dessous du chiffre qui est nécessaire pour faire équilibre au poids de la croûte solide, et cela dans toute l'étendue d'une aire circulaire ayant pour centre le sommet du cône.

A ce moment, une fissure se produit, dessinant une ligne de niveau sur les flancs de la montagne. Toute la partie supérieure, ainsi détachée, subit un affaissement d'autant plus prononcé dans le sens vertical qu'il se sera plus fait attendre. Le même phénomène peut se répéter à diverses reprises, déterminant chaque fois la formation d'une bande concentrique, bientôt transformée en une terrasse irrégulière par l'épanchement des laves. Toutes les crevasses arrivent à s'obstruer ainsi plus ou moins complètement. La dernière fissure, qui forme le contour du cirque, a plus de chances de demeurer visible; elle reste en tout cas, relativement aux régions voisines, une ligne de moindre résistance. Sur cette ligne apparaîtront de préférence des bouches d'explosion ou de véritables cratères. La présence d'orifices secondaires ayant leurs centres sur la circonférence d'un cirque plus important est, comme on le sait, un des caractères les plus fréquents des formations lunaires. Cichus, Thebit, Taruntius, Stœfler (*Pl. XI*), en offrent des spécimens très nets.

S'affaissant par degrés, l'ancien cône terminal du volcan descend à un niveau inférieur à celui du rempart. Sa forme primitive s'altère plus ou moins, mais il reste supérieur en altitude aux régions qui l'avoisinent immédiatement, et garde souvent des traces visibles de son activité volcanique primitive. L'énergie éruptive doit subir d'ailleurs une recrudescence après l'effondrement de la partie centrale. De nouveaux épanchements de lave se font jour. Bientôt arrêtés dans leur marche par les parois du cirque, ils refluent sur eux-mêmes, submergent les bases du pic central, arrivent quelquefois à le faire disparaître en totalité, plus souvent à le transformer en un piton isolé, sans lien apparent avec la périphérie. Au lieu d'un seul cratère ouvert au sommet du cône primitif, nous pouvons en imaginer plusieurs, disséminés dans un étroit espace. L'observation des volcans terrestres nous montre qu'il n'est pas rare de voir une éruption se manifester à la fois par plusieurs orifices voisins, ou de nombreux cônes surgir dans une étendue restreinte. L'intérieur des grands cirques ayant été le siège d'une activité volca-

nique intense, nous ne devons pas être surpris d'y voir des montagnes centrales à plusieurs sommets comme dans Théophile (*Pl. V*) ou Aristillus (*Pl. II*), des archipels de collines alignées comme dans Maginus, des chaînons de cratères comme dans Clavius. Le vide intérieur créé par deux foyers d'éruption voisins et simultanés peut donner lieu à un affaissement qui s'étende à la fois aux deux régions. Suivant que les zones affaissées empièteront plus ou moins l'une sur l'autre, le contour de la cavité créée figurera un ovale, la section longitudinale d'une poire ou un chiffre 8. Ces cirques doubles ou enchevêtrés constituent les déviations les plus prononcées que l'on ait occasion d'observer relativement à la forme circulaire. La cloison séparative est souvent absente ou très peu marquée, et, si l'explication que nous proposons ici est exacte, son existence ne doit nullement être considérée comme nécessaire.

L'invasion des laves fondues dans la cavité produite semble avoir été un fait habituel, mais non sans exception. Quelques cirques paraissent y avoir échappé et présentent un fond accidenté dans toute son étendue. De ce nombre sont Gassendi (*Pl. VI*), Eudoxe (*Pl. IX*), Posidonius (*Pl. IV*), Taruntius. Leur étude offre un intérêt spécial parce qu'ils ont mieux gardé leur configuration primitive et peuvent ainsi jeter plus de lumière sur les lois générales de la formation des cirques. Tous offrent des traces d'affaissements successifs par zones concentriques. Parfois cet affaissement semble s'étendre au delà même du rempart actuel et avoir été arrêté au moment où il commençait à se produire. Nous doutons que l'on puisse expliquer autrement l'espèce de circonvallation tracée autour du cirque incomplet aux dépens duquel s'est formé Aben-Ezra (*Pl. XIII*).

L'affaissement du fond d'un cirque, son envahissement par les laves, la consolidation de celles-ci, peuvent être suivis d'une longue période de repos, qui laisse la croûte solide acquérir sur ce point une grande résistance. Qu'une recrudescence d'activité intérieure vienne maintenant à se manifester, il n'est nullement certain que les nouveaux orifices volcaniques se formeront aux mêmes endroits que les premiers. Il devrait en être ainsi si les dépressions de la surface constituaient des points de moindre résistance. Mais, d'après les remarques de M. Faye et du professeur Suess, il y a de fortes raisons de croire que les couches d'égale température, dans l'intérieur de la planète, suivent les inflexions de la surface. La consolidation peut même avoir marché plus vite sous les parties déprimées que sous les parties saillantes. Pour un observateur fictif placé au centre de la Lune, la dépression de chaque cirque se présenterait comme un obstacle convexe, propre à diviser le flot montant des laves et l'obligeant à chercher une issue dans des régions plus élevées. Il se formera donc une nouvelle bouche

d'éruption ou un nouveau cône de soulèvement dans le voisinage du premier. Le cône, en s'agrandissant, pourra faire disparaître une portion du cirque antérieur. En s'affaissant, il donnera naissance à un nouveau cirque, construit aux dépens du premier, mais possédant un rempart complet, indice de sa formation plus récente. Ainsi auraient apparu les cirques parasites de Gemma Frisius et d'Albatégnius (*Pl. XIII*); les ouvertures jumelles et contiguës telles que Isidore et Capella, Azophi et Aben Ezra (*Pl. XIII*). Si la même succession de phénomènes se renouvelle une fois de plus, l'apparence primitive sera encore plus altérée. Nous observerons un enchevêtrement de trois ou quatre cercles, le plus récent étant seul complet et en général déprimé par rapport aux autres. On peut faire remonter à cette cause les formes compliquées de Clairaut, de Nasirreddin et de Licetus.

Des phénomènes semblables à ceux que nous venons de décrire se sont-ils produits à la surface de la Terre sur une échelle comparable? Pour les géologues de la première moitié du siècle, Léopold de Buch, G. de Humboldt, Élie de Beaumont, la réponse n'aurait pas été douteuse. Les grands cônes volcaniques à pentes douces, tels que l'Etna, la Caldiera de Palma, étaient pour eux de vastes ampoules soulevées par l'expansion des gaz intérieurs. Les petits cratères se seraient formés par explosion, les plus vastes par effondrement, et l'épanchement des laves, se produisant dans un cas comme dans l'autre, aurait donné des apparences semblables à ces accidents d'origine en quelque sorte opposée. Pas plus sur la Terre que sur la Lune, la distinction ne peut être faite avec certitude, sauf en ce qui concerne les plus grands cirques, pour lesquels l'origine explosive est à rejeter. La plupart des géologues admettent aujourd'hui, à l'exemple de Lyell et de Poulett-Scrope, que les exemples cités par Léopold de Buch doivent être interprétés dans un autre sens. Ni l'Etna ni la Caldiera de Palma ne seraient le résultat d'un soulèvement opéré par les forces volcaniques. Il auraient été lentement édifiés par l'accumulation des scories et des laves. Mais, dans un cas comme dans l'autre, que les couches primitives aient été redressées ou simplement perforées, la formation d'un vide intérieur et d'une aire circulaire toute préparée pour l'effondrement apparaissent comme inévitables. Si, en général, les cônes volcaniques terrestres ne se sont pas affaissés, c'est que leurs éruptions ont été relativement moins abondantes. Cette différence était à prévoir, vu que les actions volcaniques ont eu à surmonter sur la Terre une pesanteur six fois plus forte, de même qu'elles avaient à rejeter des matériaux plus denses et sans doute plus cohérents.

Les mêmes causes ont dû rendre beaucoup moins rares sur la Lune les soulèvements de l'écorce. La théorie de Poulett-Scrope, complétée par l'hypothèse

d'un affaissement ultérieur, peut suffire pour les petits cirques, dont la crête se tient à un niveau uniforme, dont les pentes extérieures sont douces et régulières. Elle tombe en défaut pour les grands cirques, dont le relief inégal, les remparts sillonnés au dedans comme au dehors de vallées profondes, ne s'expliquent ni par l'effet des érosions, ni par l'entassement des scories et des laves. Nous croyons nécessaire d'admettre qu'il y a eu ici soulèvement, sur une vaste étendue, d'une écorce déjà fortement accidentée. Les conditions physiques se prêtent beaucoup moins sur la Terre que sur la Lune à la production d'un tel phénomène. Il nous semble cependant que la Géologie peut en fournir plus d'un exemple, en dehors de ceux que Léopold de Buch paraît avoir invoqués à tort. Il existe dans l'île Maurice une enceinte volcanique de 24^{km} de diamètre, entourée de murs escarpés formés par les tranches de stratifications dont la pente est tournée vers le dehors (¹). Telle est aussi la structure des îles Saint-Paul et Amsterdam, visible sur des coupes naturelles créées par l'érosion des vagues et dessinées par M. Vélain. D'après le même auteur, la partie élevée de l'île de la Réunion comprend trois cirques, et les points culminants actuels sont les piliers restés debout de la voûte effondrée qui s'étendait autrefois sur les trois enceintes (²).

La forme actuelle de l'Etna nous semble aussi confirmer l'opinion que nous avons émise concernant l'origine des montagnes centrales. La base de ce volcan est un vaste terre-plein bombé, d'une inclinaison de 2° à 3°, portant un cône surbaissé de 7° à 8° de pente. Sur celui-ci s'élève un nouveau cône incliné à 32°. Il est clair que, si la plus grande partie de l'espace occupé par l'Etna pouvait subir un abaissement progressif, cette inclinaison croissante vers la cime maintiendrait la prééminence de la partie centrale relativement aux régions environnantes.

En résumé, il nous semble inutile d'invoquer, pour rendre compte des apparences observées sur la Lune, aucune cause radicalement différente de celles dont nous pouvons observer les effets sur la Terre. Les états actuels sont très dissemblables; l'analogie reparaîtrait sans doute s'il nous était donné de comparer les deux planètes non pas au même instant physique, mais à des étapes correspondantes de leur évolution. Si l'on se les représente encore fluides, il est clair que le globe terrestre, en raison de sa masse plus grande et de sa rotation plus rapide, a dû être soumis à des marées beaucoup moins fortes, à des varia-

(¹) DANA, *On the volcanoes of the Moon* (*American Journal of Science*, 2^e série, vol. II).

(²) *Recueil de Mémoires relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil en 1874*. Rapport de M. Vélain.

tions de température plus restreintes. La consolidation de la surface a dû s'effectuer pour la Terre d'une manière plus régulière et plus lente. La distribution plus uniforme des pressions intérieures a laissé moins de jeu à l'action des forces éruptives. Celles-ci, ayant à vaincre une pesanteur plus intense que sur la Lune, ont dû soulever des cônes moins vastes, émettre des traînées plus courtes, donner lieu à des affaissements moins étendus. Enfin les accidents ainsi créés se sont trouvés dans des conditions bien moins favorables à une conservation prolongée. L'action destructive de l'atmosphère et des précipitations aqueuses n'a laissé subsister que des vestiges méconnaissables de la configuration primitive. A mesure que les phénomènes volcaniques diminuaient d'intensité et se limitaient à quelques régions spéciales de notre globe, des forces différentes entraient en jeu. Les plissements de l'écorce d'une part, l'érosion de l'autre, devenaient des facteurs prépondérants de la formation du relief terrestre. La Lune serait ainsi une planète frappée d'arrêt dans son développement, ayant consommé prématurément, dans des transformations chimiques superficielles, sa réserve d'air et d'eau, et devenue par suite incapable de servir de théâtre aux diverses manifestations de la vie.



CHAPITRE VII.

VALLÉES ET SILLONS RECTILIGNES A LA SURFACE DE LA LUNE. — CONCLUSION.

En dehors des mers et des cirques, la surface de la Lune offre encore un certain nombre de traits bien apparents et développés dans le sens linéaire. Ce sont en premier lieu de larges et profondes vallées qui passent au travers des massifs montagneux, sans se préoccuper en rien de leur relief. Telles sont la vallée des Alpes à l'ouest de Platon (*Pl. IX*), celle qui s'étend au sud-ouest de Rheita (*Pl. XIV*), celles qui vont de Fabricius à Frascator et de Piccolomini à Janssen, celles que l'on voit entre Herschel et Hipparque, entre Bode et Ukert. On aurait tort de se les figurer semblables aux vallées terrestres, progressivement élargies de leur source à leur embouchure, comprises en général entre deux chaînes de collines ou de montagnes, et recevant sur les deux rives de nombreux affluents. Les vallées lunaires se distinguent par des caractères très nets. Elles sont presque rigoureusement rectilignes, ne se ramifient pas, gardent sur toute leur étendue une largeur à peu près uniforme, ne paraissent jamais accompagnées d'une chaîne parallèle et continue de hauteurs. D'un bout à l'autre, elles sont également déprimées au-dessous du niveau général, et l'on ne voit point ce que sont devenus les matériaux qui auraient pu en être extraits. Les plus profondes entament sur leur trajet aussi bien les dépressions transversales que les hauteurs, et peuvent en conséquence être suivies d'une façon tout à fait continue, quelquefois sur 200^{km} de longueur ou davantage. Examinées avec de puissants moyens optiques, elles paraissent posséder un fond plat, ce qui indiquerait qu'elles ont été, postérieurement à leur formation, envahies par un flot liquide qui s'y est solidifié.

D'autres vallées, moins profondes, n'entament que les parties élevées, et respectent les dépressions transversales. Elles offrent ainsi un aspect discontinu, bien que leur alignement inflexible, la longueur sur laquelle il est possible de les suivre ne permettent pas de se méprendre sur leur unité effective. Ces sillons, de même que les vallées dont il vient d'être parlé, se rencontrent de préférence dans certaines régions limitées de la Lune, et présentent entre eux un parallélisme manifeste. Un examen attentif montrera même qu'il en existe simultanément deux ou trois systèmes, chacun de direction déterminée, et figurant par leurs intersections un réseau polygonal. Aux personnes qui jugeraient

cette assertion trop hasardée, nous recommanderons l'étude des sillons qui s'étendent dans tout l'espace compris entre Albatégnius et Purbach (*Pl. VII, XIII*). L'un des plus marqués touche le côté méridional d'Arzachel; deux autres, parallèles au premier, figurent des tangentes communes intérieures aux remparts d'Albatégnius et d'Arzachel, à ceux d'Albatégnius et de Ptolémée. Un quatrième traverse la partie nord de Flammarion, passe au nord de Mœsting A, et s'étend au loin vers l'est. Un second système, coupant le premier sous un angle d'environ 75° , est formé par des tangentes aux deux bords d'Albatégnius et d'Alphonsus, par des sillons qui entament le rempart de Ptolémée au nord-est, et se dirigent vers Mœsting. On peut rattacher au même système la large vallée ouverte à l'ouest d'Herschel, ainsi que le Mur droit, entre Thebit et Birt. Le cirque d'Albatégnius se trouve ainsi inscrit dans un parallélogramme et même les angles aigus de ce parallélogramme sont coupés par des sillons assez visibles, de manière à donner l'aspect d'un hexagone régulier. Nous avons déjà eu l'occasion de remarquer que la vaste dépression dont Tycho occupe le centre a très nettement la forme d'un parallélogramme. On notera aussi l'existence de deux sillons parallèles tangents aux bords méridionaux de Clavius et de Blancanus.

La partie boréale de la Lune donne lieu à des remarques analogues. On vérifiera sans peine l'existence d'un sillon suivant le trajet d'une tangente commune aux remparts d'Aristillus et d'Autolycus (*Pl. II*). Le cirque d'Eudoxe occupe l'intérieur d'un parallélogramme figuré par quatre traits rectilignes, dont deux ont justement l'orientation de la vallée des Alpes (*Pl. IX*). Non loin de là, le cirque comblé d'Égède a pour contour un losange assez régulier. Les mêmes directions se retrouvent autour de la vaste plaine en forme de losange que l'on rencontre en se dirigeant de Platon vers le nord-ouest, ainsi que dans le massif montagneux qu'entame le golfe des Iris.

Une tendance non moins certaine à l'alignement se révèle dans la disposition des entonnoirs sans rebord ou à rebord à peine appréciable que l'on voit semés en grand nombre à la surface de la Lune. On les trouve souvent réunis ensemble comme les grains d'un chapelet, rapprochés parfois au point que les cloisons intermédiaires disparaissent et qu'il ne subsiste plus qu'un sillon unique, avec élargissements et resserrements alternatifs. Un grand nombre de formations de ce genre ont été étudiées et cataloguées par Schmidt sous le nom de *Crater-Rillen*. La rainure bien connue d'Hyginus (*Pl. X*) rentre manifestement dans ce type sur une partie de son étendue, et le cirque d'Hyginus lui-même, dénué de rebord appréciable, est peut-être le plus vaste et le mieux caractérisé des entonnoirs dont il s'agit. Le même caractère appartient aux fissures voisines de Triesnecker (*Pl. X*), notamment en leurs points de croisement. On en trouvera

deux spécimens curieux, dessinant l'un une tangente commune intérieure aux remparts d'Almanon et d'Albuféda (*Pl. XIII*), l'autre une tangente commune extérieure aux remparts d'Albatégnius et de Ptolémée. Parfois les entonnoirs, plus espacés, sont réunis par un sillon visible. Souvent aussi le terrain qui les sépare reste uni, mais leur alignement, trop parfait pour être mis sur le compte du hasard, fait soupçonner quelque lien invisible. On peut signaler un exemple de ces alignements dans la mer de la Sérénité, à l'ouest de Linné (*Pl. IV, IX*).

Nous avons eu déjà à nous occuper de ces entonnoirs, et nous avons été amené à les considérer comme des orifices d'explosion qui se seraient formés de préférence sur les points faibles de l'écorce. Étant donné que cette écorce a présenté des cassures rectilignes, on conçoit que ces fractures plus ou moins bien ressoudées, tantôt auront laissé des sillons visibles, tantôt se seront refermées à la surface, tout en constituant des lignes de moindre résistance. Sur le trajet de ces lignes les orifices d'explosion, les cônes éruptifs ont trouvé pour se former des facilités particulières. L'alignement des entonnoirs et des petits cratères est donc la conséquence forcée de l'existence des fractures rectilignes dont nous voyons en beaucoup de points des traces manifestes. On peut même préciser davantage. Les prévisions théoriques, d'accord avec les faits observés, permettent de dire que les entonnoirs sans rebord, ou bouches d'explosion, ont apparu de préférence sur les crevasses demeurées ouvertes, sur les cassures de la région montagneuse, dont le relief plus ancien n'a pas été modifié par la submersion. Les cratères saillants ont en général élu domicile sur des fissures refermées et transformées en levées saillantes à la surface des mers par l'épanchement des matières liquides. Les trois rainures d'Hippalus (*Pl. VI, XII*), qui dessinent des lignes d'affaissement concentriques à l'ouest de la mer des Humeurs présentent des rangées d'entonnoirs sur leur parcours en montagne, et des cratères saillants sur leur trajet de plaine. La démarcation, comme on peut s'y attendre, n'est pas toujours aisée à tracer. Ainsi les cratères alignés à l'ouest de Linné, ceux qui s'égrènent dans la dépression située entre Ératosthène et Copernic (*Pl. I*) devraient posséder des rebords saillants, puisqu'ils sont situés en plaine. Ce cas est bien réalisé, en effet, mais les bourrelets ne deviennent appréciables que sous un éclairage très oblique. Quand une éminence caractérisée à la fois par sa forme régulièrement conique et par la teinte claire du sol avoisinant apparaît sur le trajet d'une fissure, celle-ci devient invisible dans le voisinage, comme si elle était encombrée par les matériaux rejetés. Cette circonstance, que l'on peut vérifier sur les rainures d'Hippalus (*Pl. XII*), confirme le caractère éruptif que nous avons attribué aux cônes isolés, et permet de les considérer comme plus récents que les fissures.

XXII.

C.8

Quelques-unes de ces rainures de la surface lunaire ont déjà attiré notre attention. Tracées parallèlement au rivage des mers, elles doivent être interprétées comme l'indice d'affaissements successifs et concentriques. Cet effet ne s'est pas toujours limité à l'étendue apparente de la mer. Les monts Altaï, par exemple, ne sont nullement une chaîne au vrai sens du mot, mais un rebord de plateau, résultat d'un mouvement du sol de même sens, de même forme et de même centre que celui qui a créé la mer du Nectar, tout en embrassant une aire beaucoup plus vaste (*Pl. V*). Il y a cependant bien des crevasses dont la disposition ne suggère pas cette origine, et les sillons tracés sans inflexion à travers les régions montagneuses appellent évidemment une explication différente.

La présence d'un double système de lignes formant réseau n'est pas un fait exceptionnel dans les expériences de Physique. On en voit apparaître de semblables sous l'action de mouvements vibratoires, ou encore sous l'influence de compressions ou de tractions très énergiques, exercées sur une matière homogène et résistante. Les expériences réalisées par M. Daubrée dans le but d'expliquer les cassures terrestres ont montré qu'un bloc d'argile, soumis à une pression intense se partage suivant deux séries de surfaces planes, obliques sur la direction de l'effort, et approximativement perpendiculaires l'une sur l'autre. Ainsi ont pu prendre naissance, dans les roches schisteuses ou feuilletées, les lignes de joint et de clivage ⁽¹⁾. Des recherches plus récentes, dues au commandant Hartmann, ont porté sur des sphères et des cylindres métalliques, soumis à des efforts intenses. On voit alors apparaître à la surface du métal un double système de lignes de striction, dessinant des loxodromes ou des hélices ⁽²⁾. La ressemblance de ces tracés géométriques avec ceux que nous observons à la surface de la Lune est assurément curieuse. Mais on sera moins tenté de s'y arrêter si l'on note que ces expériences ne réussissent que sur des matières homogènes et ne déterminent en fin de compte que des effets moléculaires, répétés un grand nombre de fois dans un espace de quelques centimètres. Il est absolument invraisemblable que l'écorce lunaire, une fois consolidée, ait pu présenter, sur des centaines de kilomètres d'étendue, cette uniformité de composition. L'égalité de résistance est moins admissible encore, en présence d'un relief aussi prononcé. On s'expliquera beaucoup mieux l'apparition des grands sillons lunaires si l'on remonte par la pensée à l'époque beaucoup plus ancienne

⁽¹⁾ DAUBRÉE, *Expériences relatives aux cassures terrestres* (*Annuaire du club Alpin-Français*, année 1881). Voir aussi *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 77, 283, 428.

⁽²⁾ HARTMANN, *Revue d'Artillerie*, années 1894-95.

où la surface de la Lune possédait encore une certaine mobilité et commençait seulement à se couvrir d'une écorce solide.

L'existence de formations rectilignes embrassant de vastes espaces suppose, comme nous l'avons déjà fait remarquer au Chapitre V, l'action d'une force qui ne rencontre que peu d'obstacles, tels que les courants atmosphériques ou marins. Que de tels courants se soient produits sur la Lune, c'est une conséquence presque forcée de la fluidité primitive de la planète et de l'existence de fortes marées provoquées par l'action de la Terre. Il y a tout lieu de croire, d'après les recherches de M. Darwin, qu'au moment où la solidification de la surface a commencé, il y avait encore désaccord entre la durée de révolution de la Lune et celle de sa rotation. Les marées provoquaient alors des changements de niveau rapides et accentués, qui ont dû retarder longtemps la consolidation de l'écorce. Des scories se sont d'abord formées à la surface et agglomérées graduellement en îlots plus étendus. Partant à la dérive, heurtés les uns contre les autres, ceux-ci ont dû bien souvent se briser, s'enchevêtrer, ainsi qu'on le voit faire aux glaçons dans la congélation des rivières rapides. Gagnant ainsi d'épaisseur, ils ont constitué les plus anciennes montagnes de la Lune, ces hauts plateaux bosselés et fracturés, aux dépens desquels se sont formés les cirques. A mesure que les bancs de scories se soudaient ensemble et acquéraient une étendue plus grande, ils obéissaient de plus en plus lentement à l'influence inégalement répartie des courants et des marées. Ils arrivaient ainsi à constituer des obstacles relativement fixes. Contre ces obstacles sont venus frotter et s'user les îlots de dimension moindre voyageant à la dérive. Ces frottements ont dû, en détruisant les parties saillantes, créer des portions de contour rectiligne. C'est ce que montre un instant de réflexion et mieux encore l'observation des glaçons formés sur les cours d'eau. La forme polygonale y est presque de règle, ainsi que l'on peut s'en convaincre à Paris même, dans les hivers rigoureux. Au fond le mécanisme qui conduit à ces apparences géométriques est le même que celui qui amène la formation de berges rectilignes dans les rivières à courant rapide.

Dès que les îlots réunis arrivent à embrasser la circonférence entière de la planète, l'écorce peut être considérée comme fixée dans son ensemble. Mais des mouvements particuliers sont encore possibles, notamment dans le sens vertical, et peuvent provoquer des cassures nouvelles.

Le tracé de ces cassures dépendra, jusqu'à un certain point, de celui des soudures préexistantes. Il pourra aussi coïncider avec les lignes de propagation simultanée des marées terrestres. Ces lignes se confondraient à peu près, dans l'état actuel, avec les méridiens de la Lune. Si, comme il paraît résulter des recherches de M. Darwin, la durée de la rotation de la Lune, l'inclinaison de

son axe sur le plan de l'orbite, ont varié dans une large mesure, nous ne devons pas nous étonner si ces lignes ne présentent pas une entière unité de plan et si nous en relevons deux systèmes d'orientation nettement divergente. Le fait du parallélisme des sillons dans une région donnée indiquerait la prédominance des courants de même direction dans la masse liquide à l'époque où la consolidation superficielle s'est achevée. La présence simultanée de deux systèmes de rainures d'orientation différente révèle un changement périodique dans le sens des courants, changement survenu, selon toute apparence, sous l'influence des marées terrestres.

Portons notre attention sur la partie de l'écorce ainsi détachée par une cassure. Si elle est libre de ses mouvements, elle va s'éloigner à la dérive, élargissant par degrés la fente de séparation, qui prendra ainsi les proportions d'une vallée spacieuse. Que le mouvement vienne à être entravé, nous aurons un canal plus ou moins large entre l'îlot et le continent principal. La surface de ce canal venant à se solidifier à son tour, il se transforme en une vallée à fond plat, comprise entre deux berges escarpées. Cette explication ne diffère pas au fond de celle que suggère au professeur Suess l'aspect particulier de la vallée des Alpes. Elle nous semble pouvoir être invoquée avec vraisemblance dans un certain nombre de cas analogues.

La correspondance des plis de terrain paraît probable, mais non certaine d'un côté à l'autre de la vallée des Alpes (*Pl. IX*). On peut douter s'il y a eu rupture dans une croûte antérieurement continue, ou juxtaposition fortuite de deux îlots d'origine différente, et limités l'un et l'autre par une portion de contour à peu près rectiligne. Si nous examinons à ce point de vue la fissure d'Ariadæus (*Pl. X*), nous la voyons traversée par plusieurs chaînes de collines qui ne s'interrompent pas au passage. La similitude, ou mieux l'identité des forces qui ont modelé le sol sur les deux rives est évidente. Mais il y a peu d'apparence que ces collines soient composées de matériaux assez ductiles pour s'être maintenues à l'état de ponts pendant la formation de la fissure, large de plusieurs kilomètres. Il y a moins de difficulté à considérer ces collines comme étant de date plus récente, et comme ayant surgi au travers de la vallée d'Ariadæus, déjà fixée à sa largeur actuelle. Il semblerait donc que les deux rives de la fissure, une fois ressoudées ensemble, ont éprouvé simultanément des efforts latéraux assez puissants pour en plisser et en redresser les couches.

La vallée de Rheita (*Pl. XIV*), dont les grandes dimensions se prêtent mieux à une étude détaillée, montre avec évidence des cirques et des élévations transversales qui s'étendent aux deux rives et interrompent même la portion déprimée. Ici encore il y a eu remaniement du sol par des actions volcaniques plus

récentes, les berges de la vallée étant déjà fixées à leur distance actuelle, et le fond parvenu à l'état solide.

Sur le trajet des sillons rectilignes que l'on observe autour d'Albatégnius, d'Arzachel et d'Alphonse, on rencontre de nombreux cirques, évidemment de date plus récente. Les sillons franchissent le rempart des cirques et se voient même, plus ou moins effacés, dans leur dépression centrale, notamment à l'intérieur de Parrot et d'Airy (*Pl. VII*). Les bords de ces sillons, dans les parties demeurées intactes, sont souvent relevés, ainsi qu'il arrive pour des glaçons soumis à leur friction mutuelle et à des pressions latérales énergiques. La même particularité a été reconnue par le Dr Weinek sur la crevasse intérieure de Petavius.

L'existence de sillons tangents aux remparts des cirques est une conséquence aisée à prévoir des hypothèses précédentes. Si antérieurement à l'apparition des cirques, la croûte a présenté des soudures imparfaites, des lignes de moindre résistance, il est évident que cette circonstance n'a pas dû être sans influence sur la forme définitive des cirques. Supposons, comme nous l'avons fait, que la cause déterminante de leur affaissement soit le vide intérieur créé par une éruption volcanique intense, suivie de retrait. La région déprimée sera bien limitée par une circonférence ayant pour centre le point d'émission, si la croûte environnante offre une résistance uniforme. Mais si cette croûte présente déjà des vallées, des crevasses imparfaitement refermées, et surtout si l'une de ces vallées passe au voisinage de la circonférence limite, l'affaissement tendra nécessairement à se produire le long de cette ligne, et une partie du contour circulaire se trouvera remplacée par un tracé rectiligne. Que le même fait vienne à se produire dans une direction différente, et le rempart affectera une forme polygonale.

Or, après la forme régulièrement circulaire, l'apparence polygonale est celle qu'ont le plus souvent notée les observateurs voués à l'étude de la Lune. Albatégnius en est peut-être l'exemple le mieux caractérisé, mais des remarques analogues ont été suggérées, indépendamment de toute vue théorique, par l'examen de Ptolémée, de Purbach (*Pl. VII*), d'Agrippa, de Janssen (*Pl. XIV*), d'Aristote (*Pl. IX*), de Copernic. Ces portions rectilignes se prolongent souvent dans les deux sens, en dehors du cirque, par des sillons visibles. Plusieurs de ces sillons suivent, comme nous l'avons déjà remarqué, le tracé d'une tangente commune aux remparts de deux cirques voisins. Ces exemples, que l'on pourrait sans doute multiplier avec des moyens optiques plus puissants, apportent à notre hypothèse sur la formation des cirques un appui qui ne saurait être négligé.

De l'ensemble des relations actuelles entre les vallées et les cirques, il résulte que les vallées constituent des traits plus anciens, remontant au début même de

la formation de l'écorce solide. Les cirques ne sont apparus que plus tard. Les mouvements de soulèvement et de dépression qui leur ont donné naissance se sont accomplis avec une certaine lenteur. Ils n'ont point porté sur une surface amenée à l'état liquide, mais sur une croûte solide, capable de garder des traces de sa configuration primitive. Les manifestations volcaniques proprement dites, dégagements de gaz ou de vapeurs, émissions de cendres, épanchements de laves, se sont produites dans presque toutes les parties de la Lune, mais n'ont modifié qu'assez faiblement le relief des régions montagneuses. C'est seulement au fond des grands cirques, à la surface des mers, que le flot des laves a été assez abondant pour amener l'effacement du relief antérieur, dont quelques témoins isolés subsistent par places.

Les surfaces ainsi aplanies ont pu se crevasser à leur tour par suite d'affaissements ou de glissements progressifs. Le fait s'est produit ainsi que nous l'avons déjà noté au Chapitre II, à la circonférence de presque toutes les mers, en travers des pentes qui forment transition entre la région montagneuse et la partie centrale ou déprimée. Ces crevasses de plaine, formées à une date plus récente, dans une croûte en grande partie consolidée et ne possédant plus qu'une mobilité restreinte, n'ont pu atteindre aux dimensions des vallées lunaires. Elles offrent, en général, le caractère de fissures étroites et fines dont le fond échappe à notre observation. Tout ce que l'on peut faire est d'assigner leur position et de reconnaître leur tendance générale à suivre des lignes de niveau sur la surface de la Lune.

Il existe des cas assez nombreux où cette règle est mise en défaut. Les crevasses qui courent à la base nord-est des Apennins (*Pl. II*) sont coupées à angle droit par un autre système de vallées venues d'Archimède. On voit autour de Triesnecker (*Pl. X*) et de Ramsden (*Pl. XII*) un système de fissures entrecroisées pouvant se rattacher à deux directions principales. Il est à noter qu'en pareil cas les fissures ne s'arrêtent pas à leur point de croisement, mais se continuent sans inflexion de part et d'autre. A la rigueur cette disposition s'explique sans qu'il y ait à invoquer d'autre force que la pesanteur. L'observation des glaciers montre, en effet, qu'en travers des crevasses principales dirigées suivant les lignes de niveau, il peut apparaître un second système de fissures à angle droit avec le premier, divisant toute la masse glaciaire en fragments de forme cubique. Cet entrecroisement se produit surtout aux points où des bosses rocheuses, en saillie sur le fond du glacier, viennent mettre obstacle à son écoulement. On peut douter cependant que les crevasses formées sous une semblable influence puissent acquérir des dimensions assez grandes pour devenir visibles sur la Lune. Mais l'intervention d'une force éruptive, capable de soulever la

croûte, est aussi de nature à faire apparaître des crevasses divergentes et à modifier, sur de grandes étendues, le relief du sol. La superposition possible des deux effets explique pourquoi les rainures de Triesnecker, par exemple, n'offrent ni la disposition rayonnante autour d'un centre habituel aux fissures volcaniques, ni une relation simple avec le relief du sol comme les crevasses de glaciers.

Il est cependant certain que nous avons affaire ici à des cassures du sol, et non à des vallées d'érosion. Jamais nous ne voyons les fissures servir de déversoir à de grands bassins de réception, bien que ceux-ci existent en abondance dans la région montagneuse. Pas plus que les vallées lunaires elles ne forment des systèmes réguliers d'affluents. Leur origine et leur fin, situées d'ordinaire en plaine, ne se distinguent en aucune façon l'une de l'autre et vont en s'amincissant. Le maximum de largeur est atteint vers le milieu de la fissure, où apparaissent ordinairement un ou plusieurs évasements circulaires, comparables par leur aspect à Hyginus. Il y a grande apparence que ces entonnoirs résultent du travail de forces explosives qui ont trouvé des facilités particulières pour se faire jour sur le trajet de la fissure. La loi qui préside à la variation de largeur est bien celle que l'on retrouve sur une échelle moindre dans les crevasses des glaciers, nullement celle qui régit la forme des vallées creusées par les eaux.

Si toutefois, à une époque reculée, une circulation d'eau a existé sur la Lune, ces crevasses, ouvertes dans les régions déprimées, en ont nécessairement absorbé une part, et l'érosion a plus ou moins altéré leur forme. Les entonnoirs placés au croisement des fissures, ceux que l'on rencontre parfois aux points où les fissures changent de direction, auront été agrandis, sinon créés, par le tourbillonnement des eaux. Pour Hyginus comme pour Triesnecker, il semble que les deux moitiés de la fissure, progressivement élargies, aient leur pente dirigée vers un réservoir commun, d'où les eaux se seraient insinuées dans les couches profondes de l'écorce lunaire. C'est par un mécanisme analogue que certains plateaux arides de la Terre sont arrivés à être dénués de toute irrigation superficielle, bien qu'on puisse y reconnaître des lits de rivière desséchés et parfois une circulation souterraine encore active. Cette assimilation emprunte un certain degré de vraisemblance aux exemples cités dans un Travail récent par M. Pickering (¹). Il n'en reste pas moins acquis, par le fait même de la permanence des crevasses dans les régions basses de la Lune, qu'il ne s'y est point formé de ces cônes d'alluvion, de ces dépôts sédimentaires que de faibles tor-

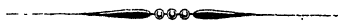
(¹) *Annals of the Astronomical observatory of Harvard College*, vol. XXXII, Part I.

C.64 RECHERCHES SUR L'ORIGINE PROBABLE DES FORMATIONS LUNAIRES.

rents, issus de nos montagnes, sont capables de créer dans un temps relativement court.

En résumé, l'ancienneté relative des principales catégories de formations lunaires nous semble pouvoir être établie dès à présent d'une manière à peu près certaine. La dissemblance des aspects de notre globe et de son satellite tient moins à une différence de constitution originelle qu'à la mise en jeu, sur la Terre, de forces qui n'ont pas trouvé à s'exercer sur la Lune. Les plissements du sol, si importants à considérer en Géologie, sont à peine intervenus dans la formation du relief lunaire. Il y aurait donc lieu de les regarder sur la Terre comme un phénomène relativement récent et superficiel. La tendance des savants modernes à faire prédominer, à toutes les époques géologiques, les efforts latéraux sur les affaissements pourrait bien être trop exclusive. Ce que nous disons des plissements de terrain s'applique davantage encore au travail des fleuves. L'existence de l'air et de l'eau sur la Lune, à une époque reculée, est attestée indirectement par le témoignage des actions volcaniques, plutôt que par leurs effets directs d'érosion et de dégradation superficielle. La constatation indubitable de ces effets paraît excéder, quant à présent, les forces de la Photographie, et sans doute aussi celles de l'observation oculaire.

L'étude détaillée de notre satellite soulève, nous ne chercherons pas à le dissimuler, bien d'autres questions. L'état physique actuel de la surface de la Lune, la densité et la composition probable de son atmosphère sont des problèmes dont la solution, encore controversée, exige toutes les ressources de la calorimétrie et de la spectroscopie la plus délicate, et ne rentre point dans le cadre que nous avons tenté de remplir.



PHOTOGRAPHIE LA LUNE CENTRALE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Carte Populaire de la Lune

Pl. I

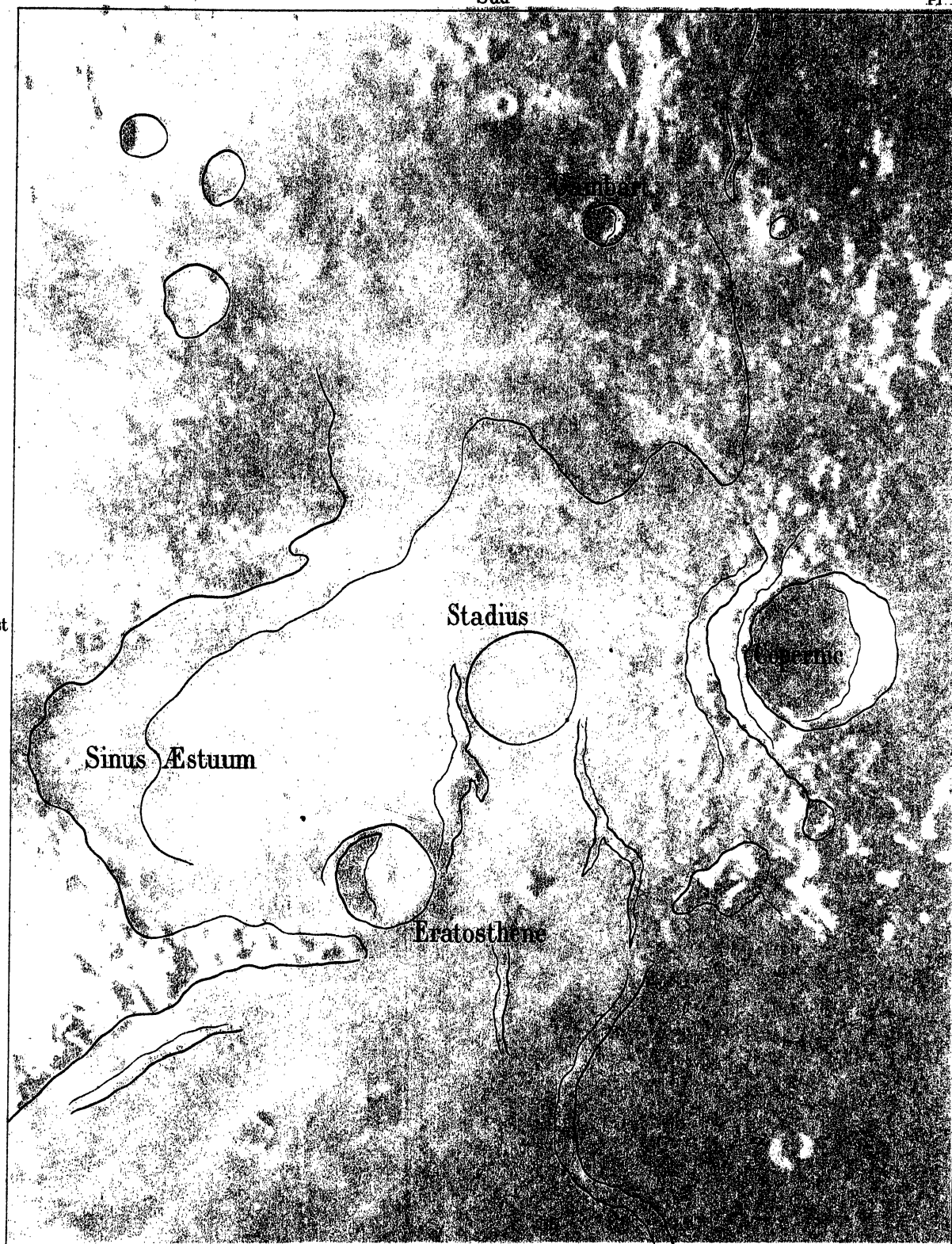
Agrandissement 15 fois

Pl. I.

Sud

Ouest

Est

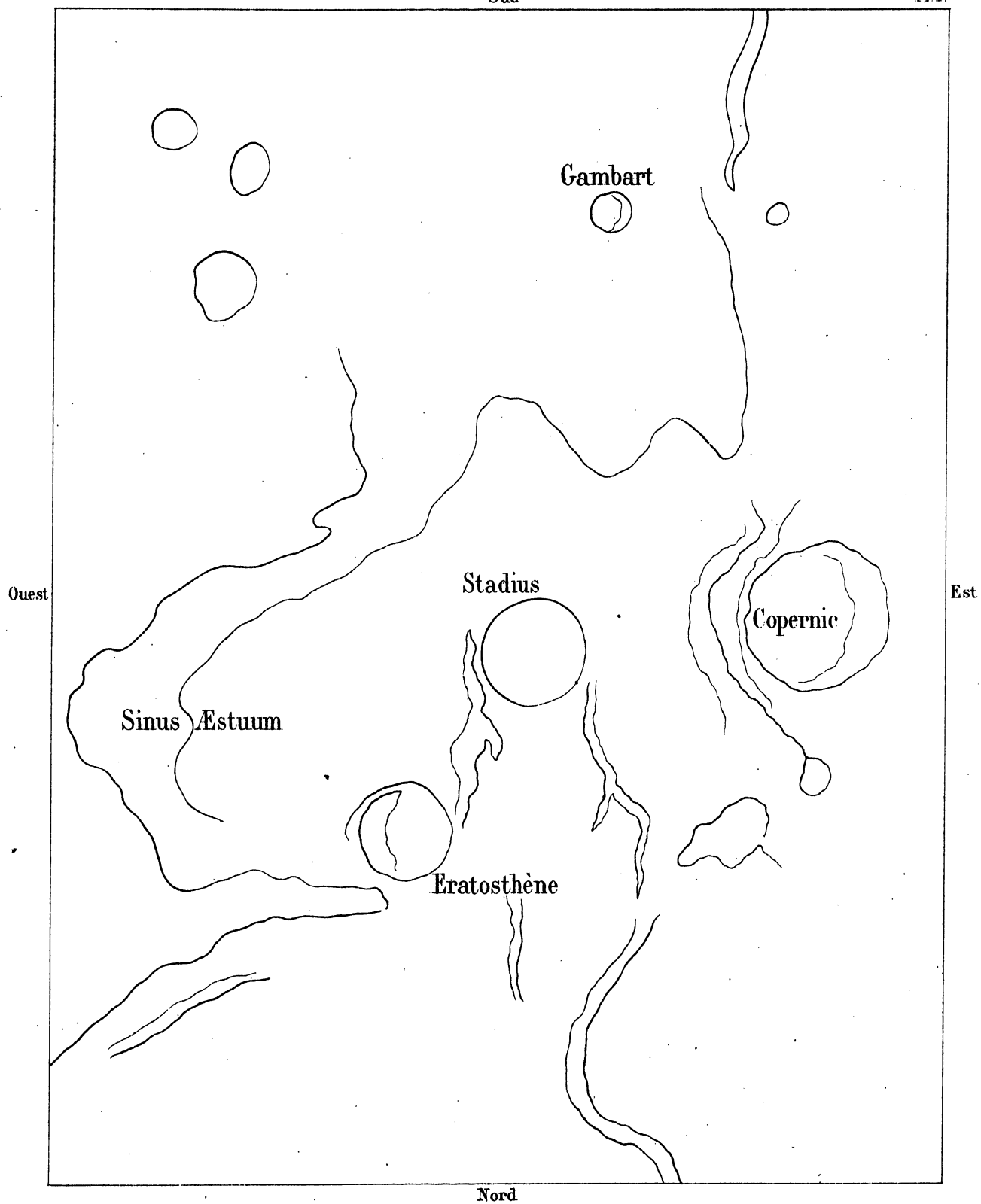


Nord

PHOTOGRAPHIE LA LUNE CENTRALE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Sud

Pl. I.



PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

Pl. I.

Agrandissement 5 fois

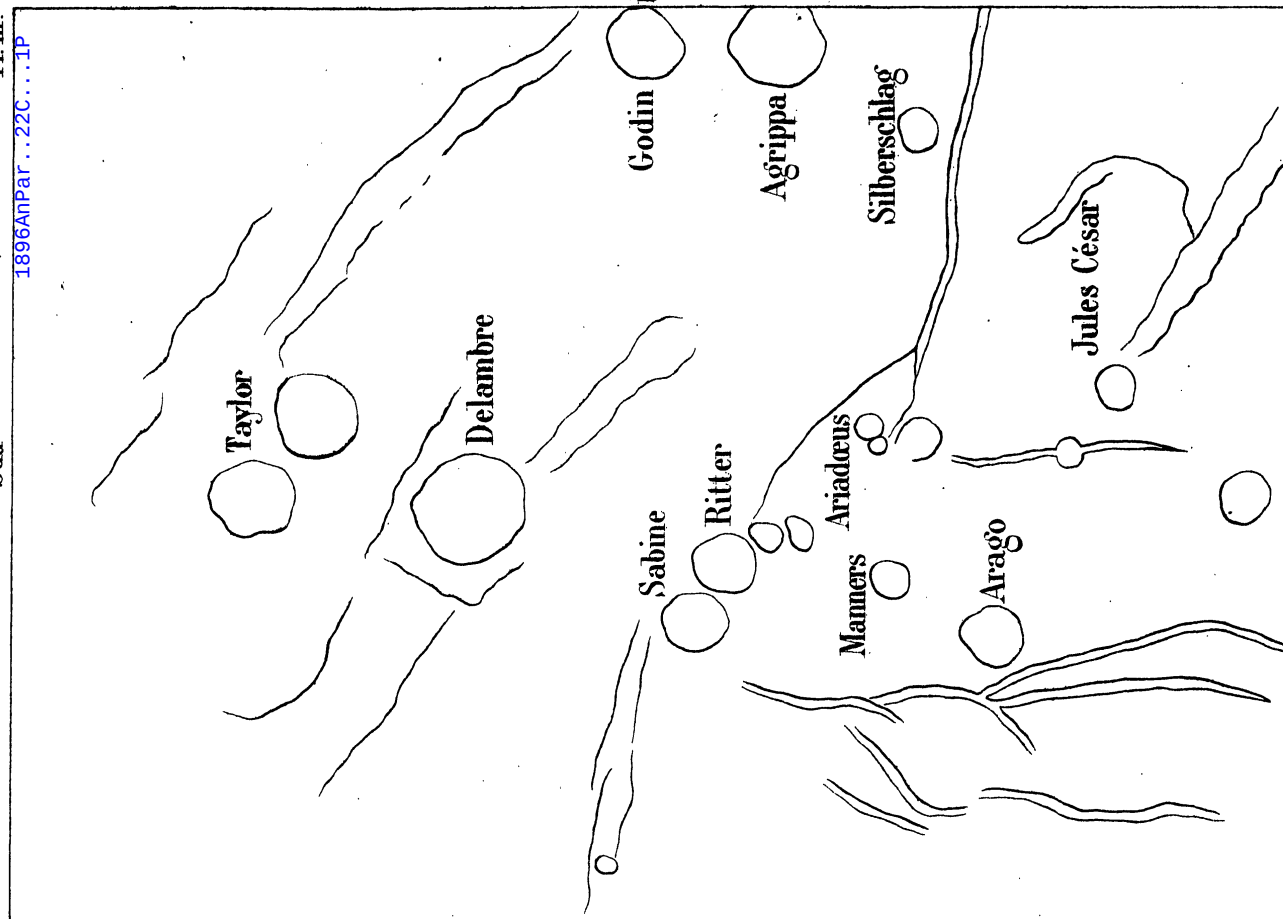


Phototype Loewy et Puiseux.

Photocollographie J. Royer, Nancy.

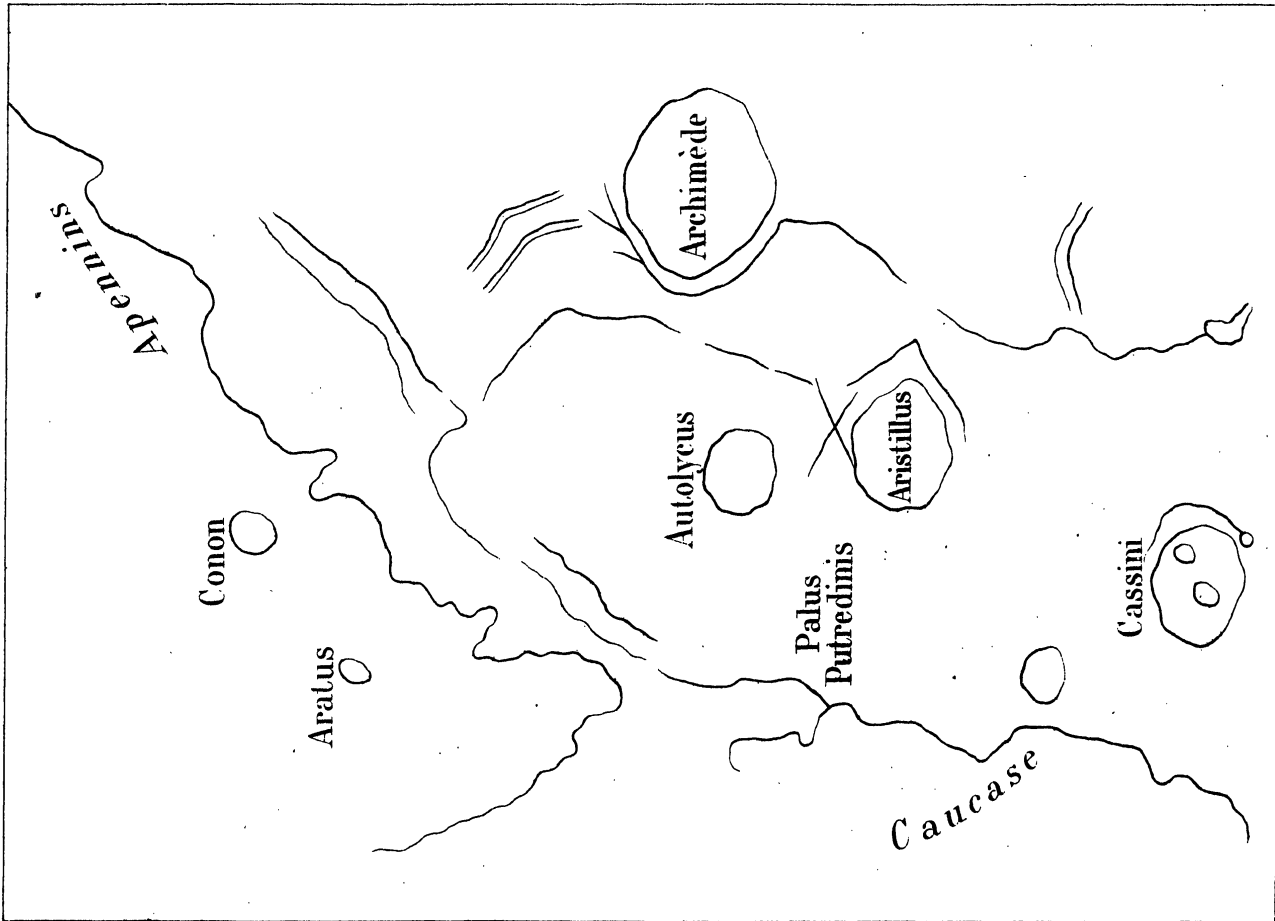
1895, MARS 5. — 6 h. 51 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

Sud



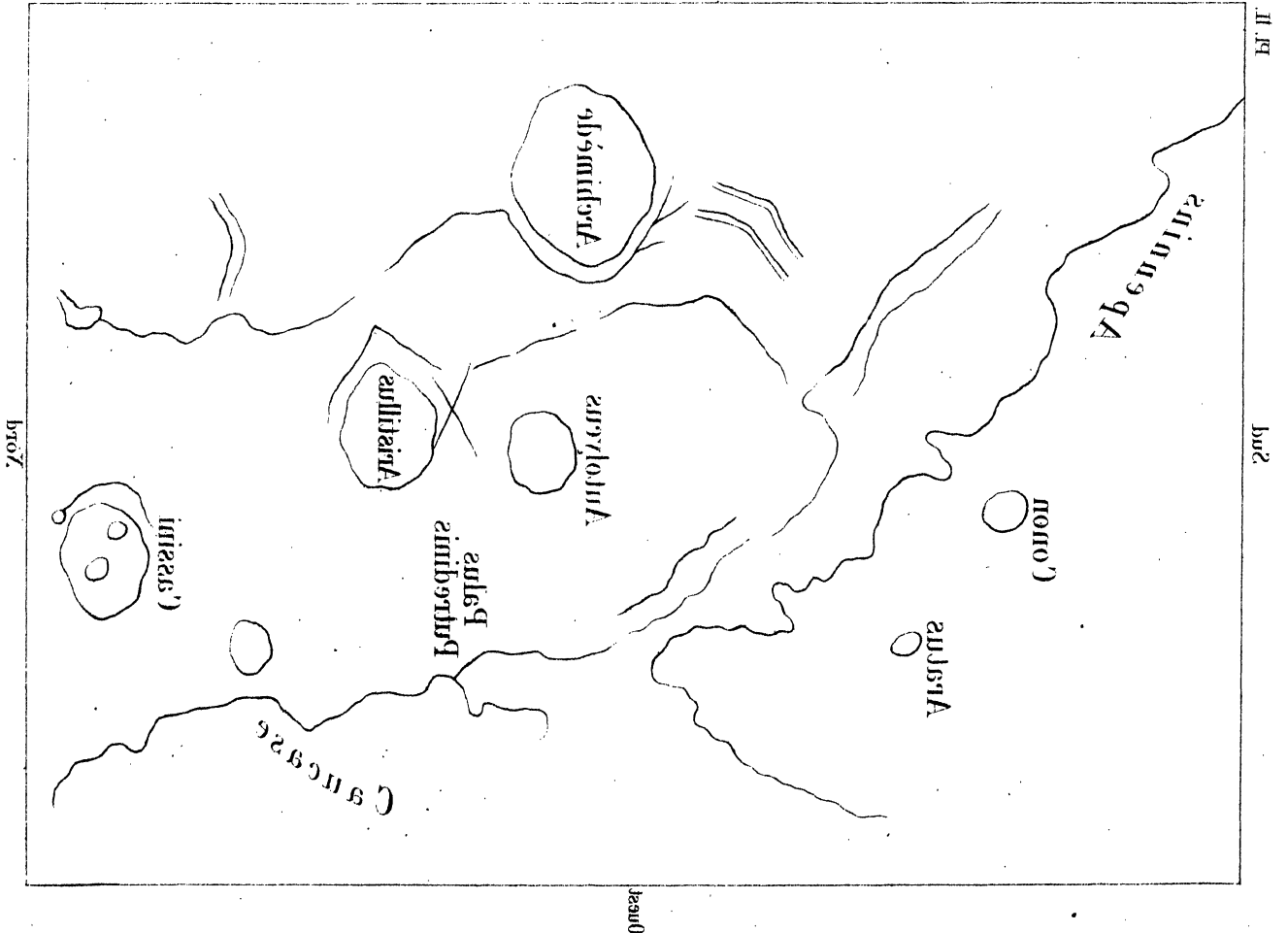
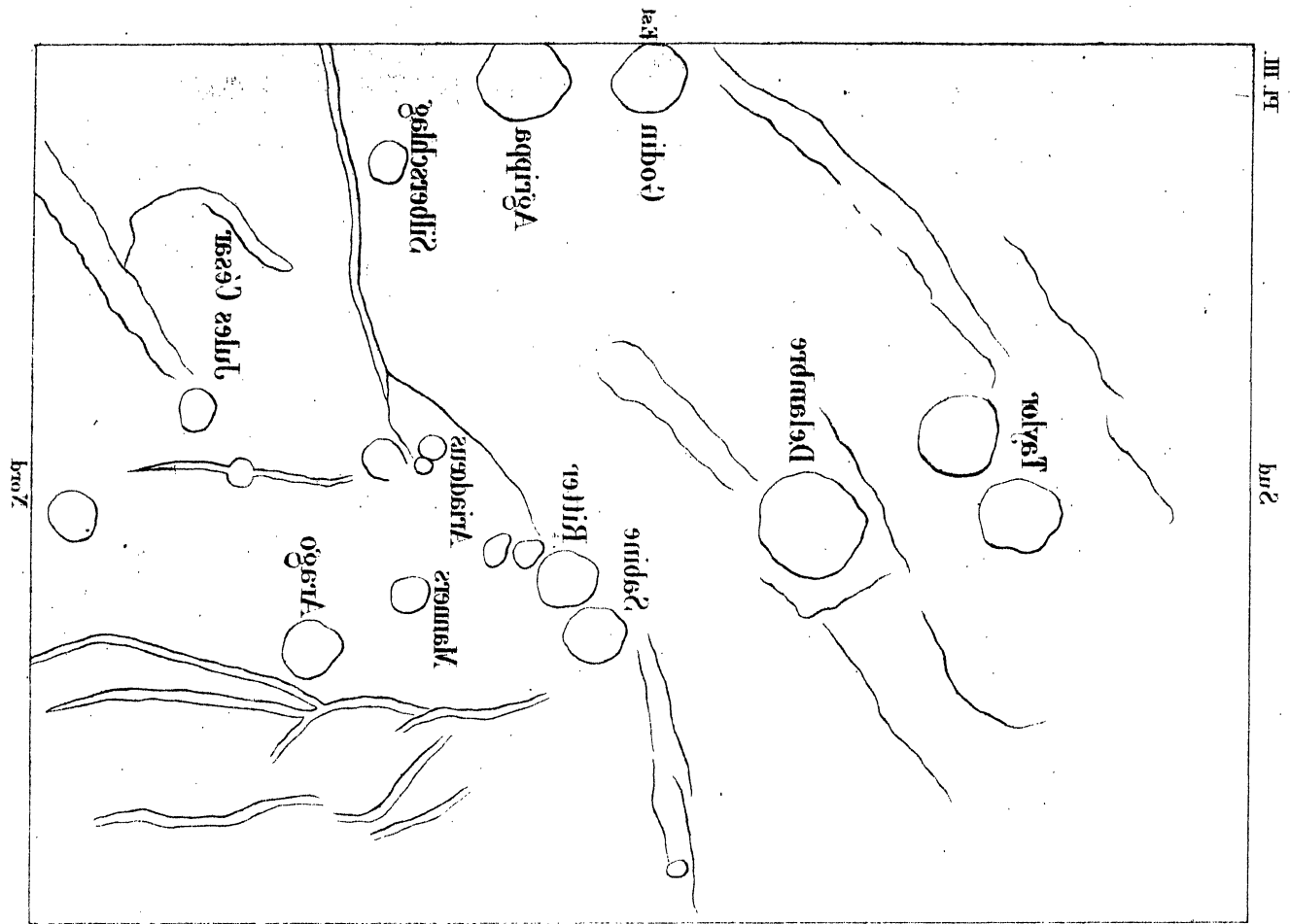
Nord

Sud



Nord

Ouest



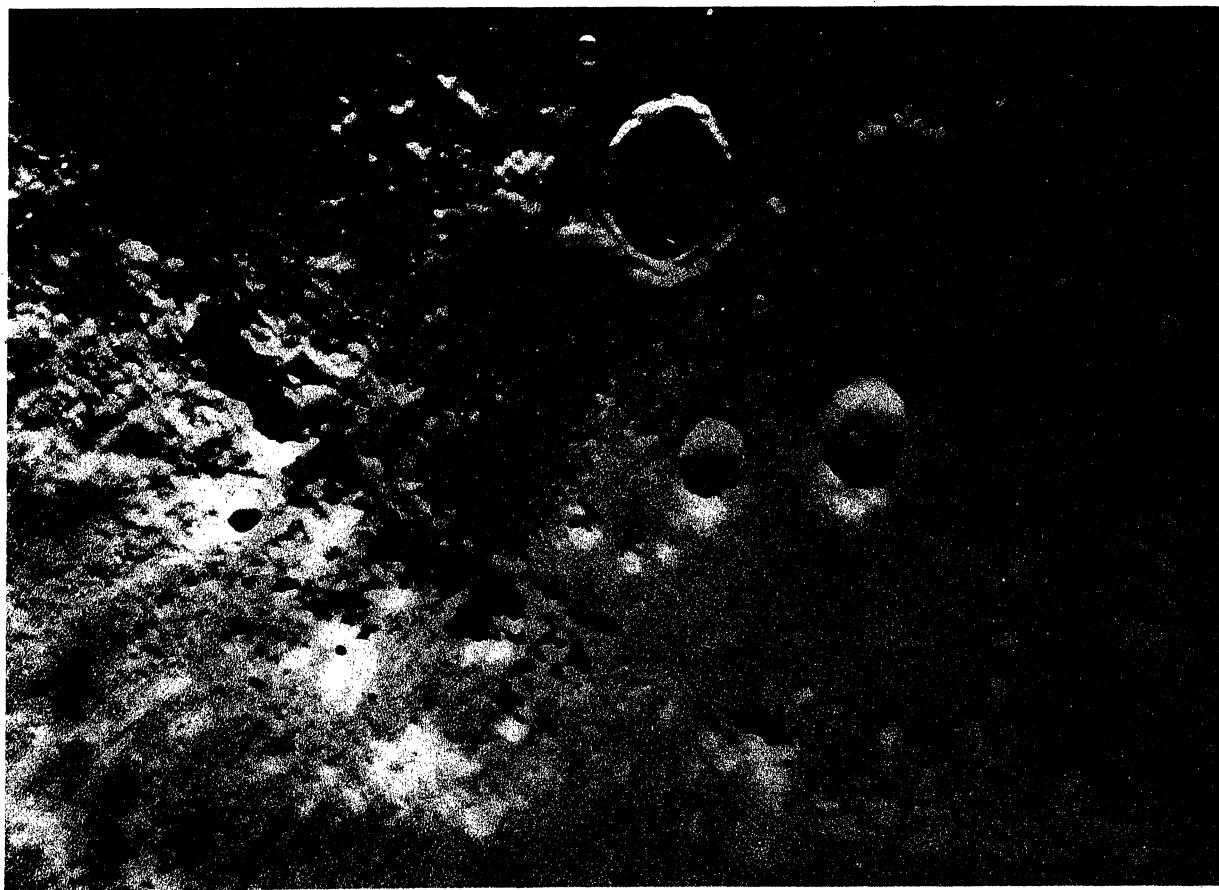
PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

Pl. II.

Pl. III.

Agrandissement 5 fois

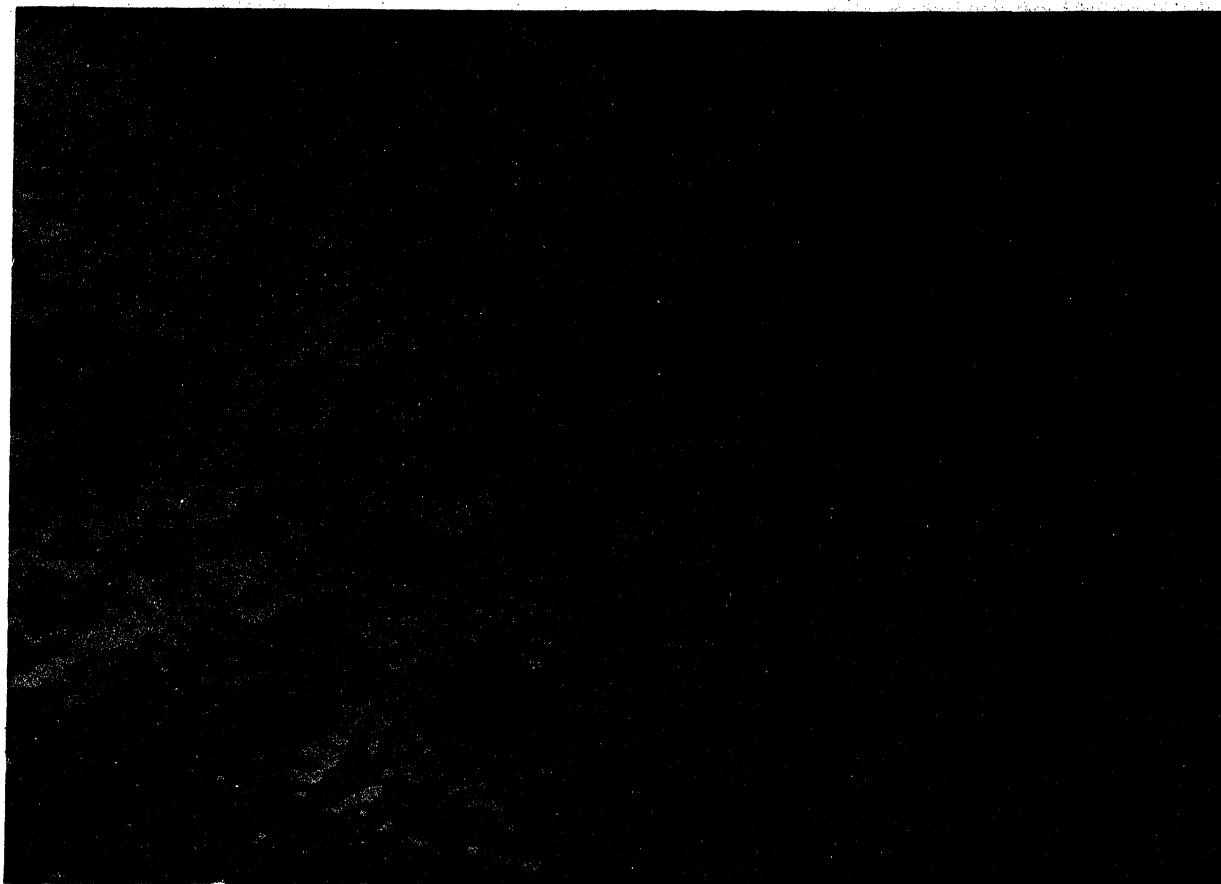


Phototype Loewy et Puitsen.

1894, FÉVRIER 13. — 7 H. 33 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

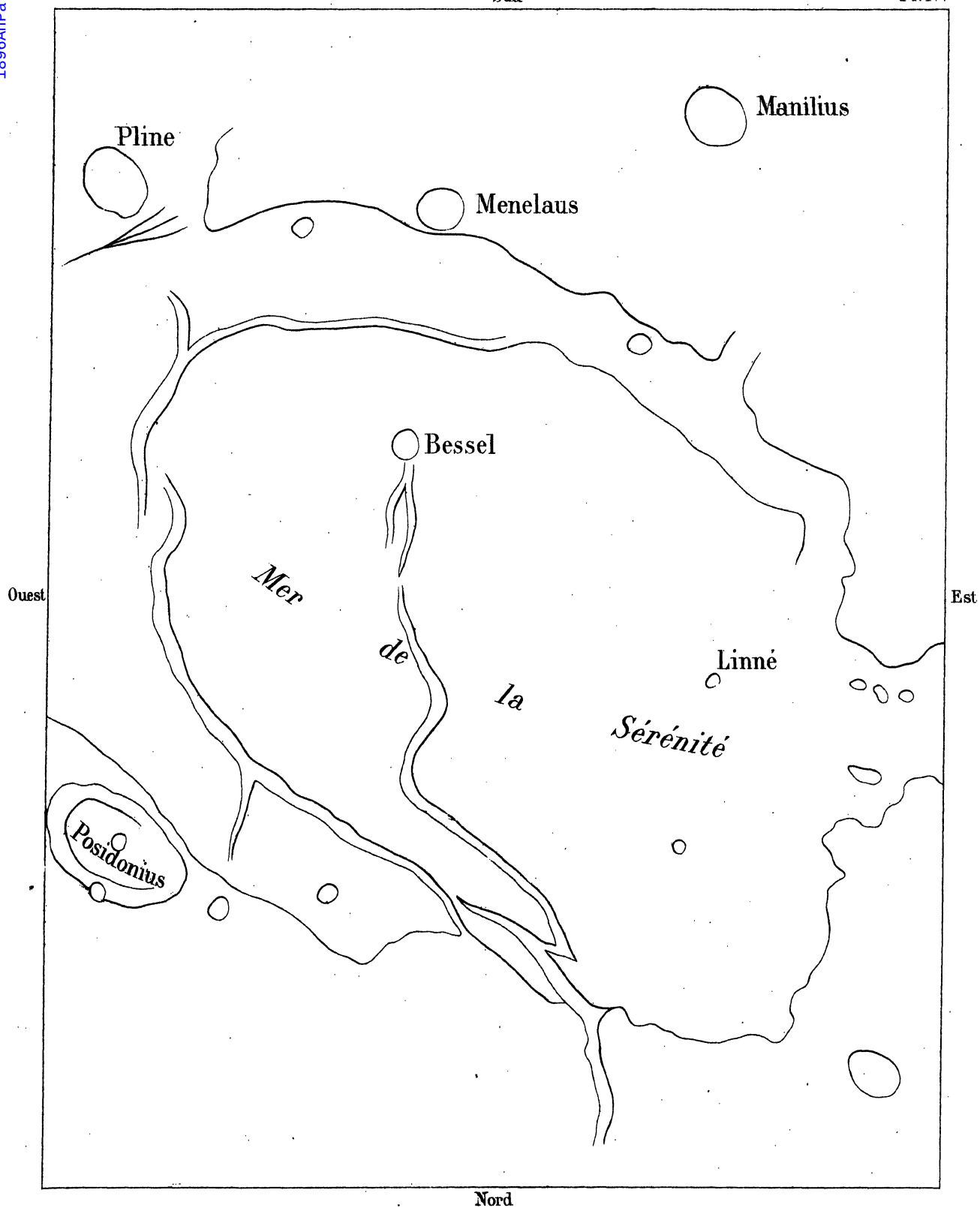
1894, SEPT 19. — 14 H. 5 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

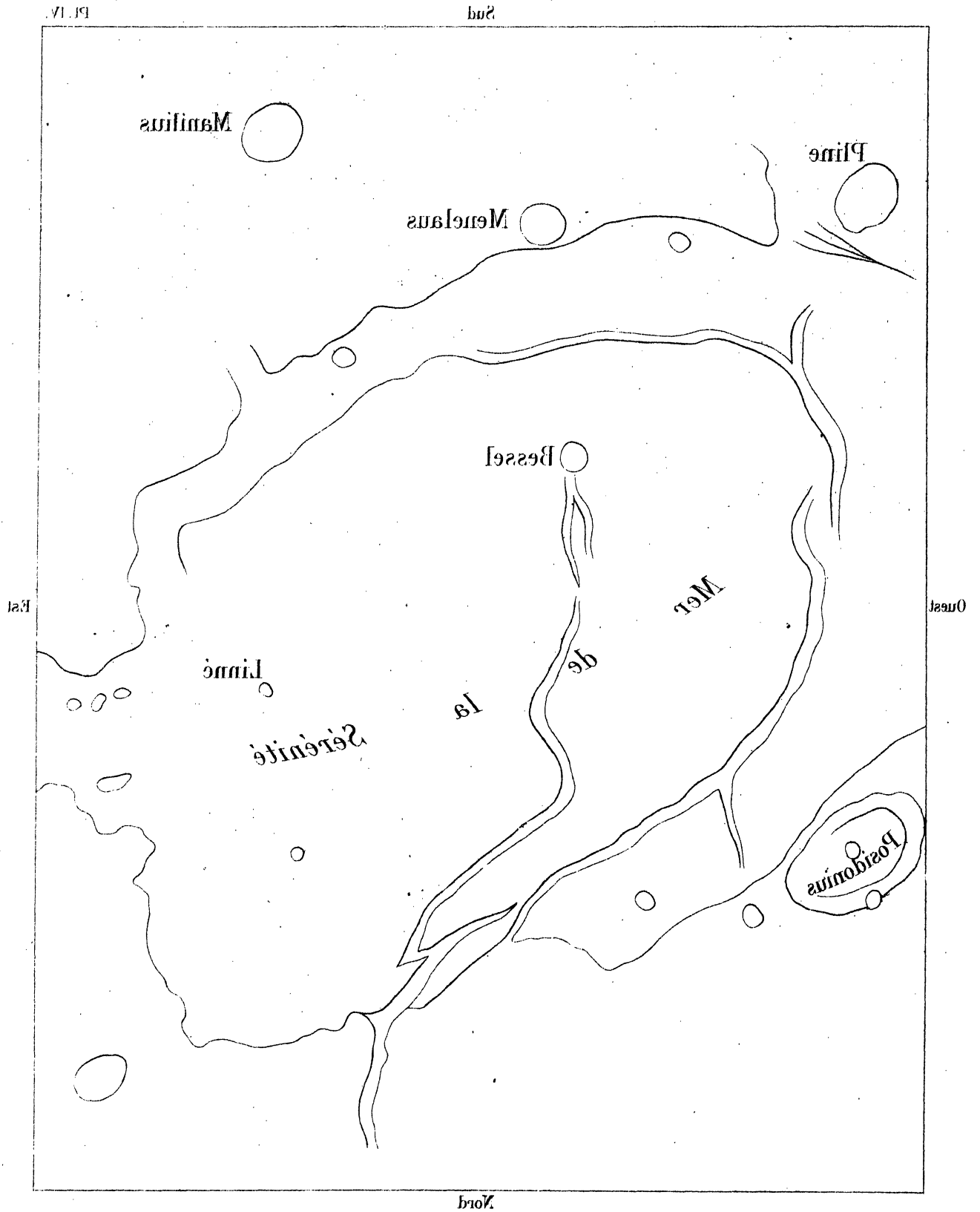
Photocollographie J. Royer, Nancy.



Sud

Pl. IV.





PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

PL. IV.

Agrandissement 5 fois



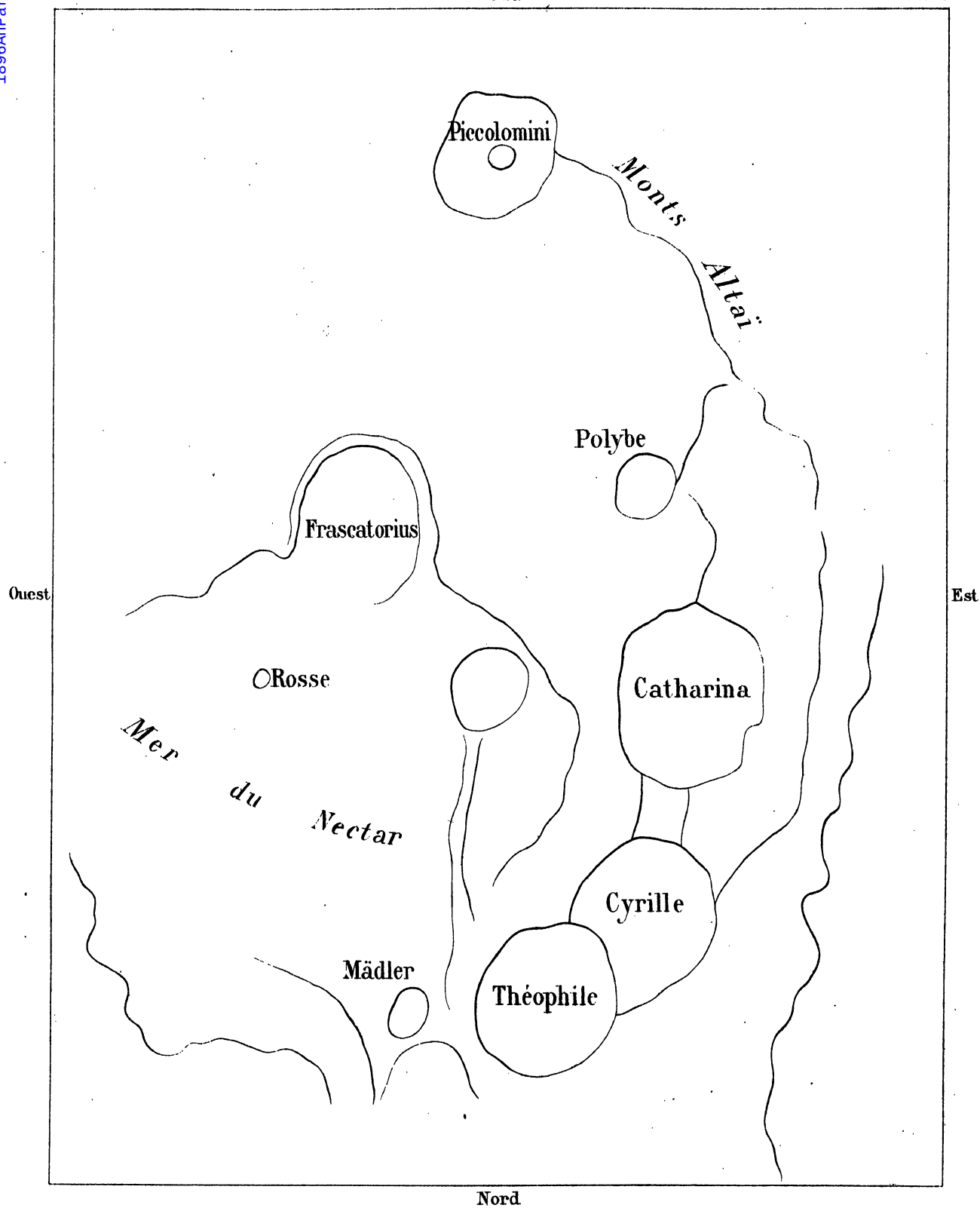
Phototype Loewy et Puiseux.

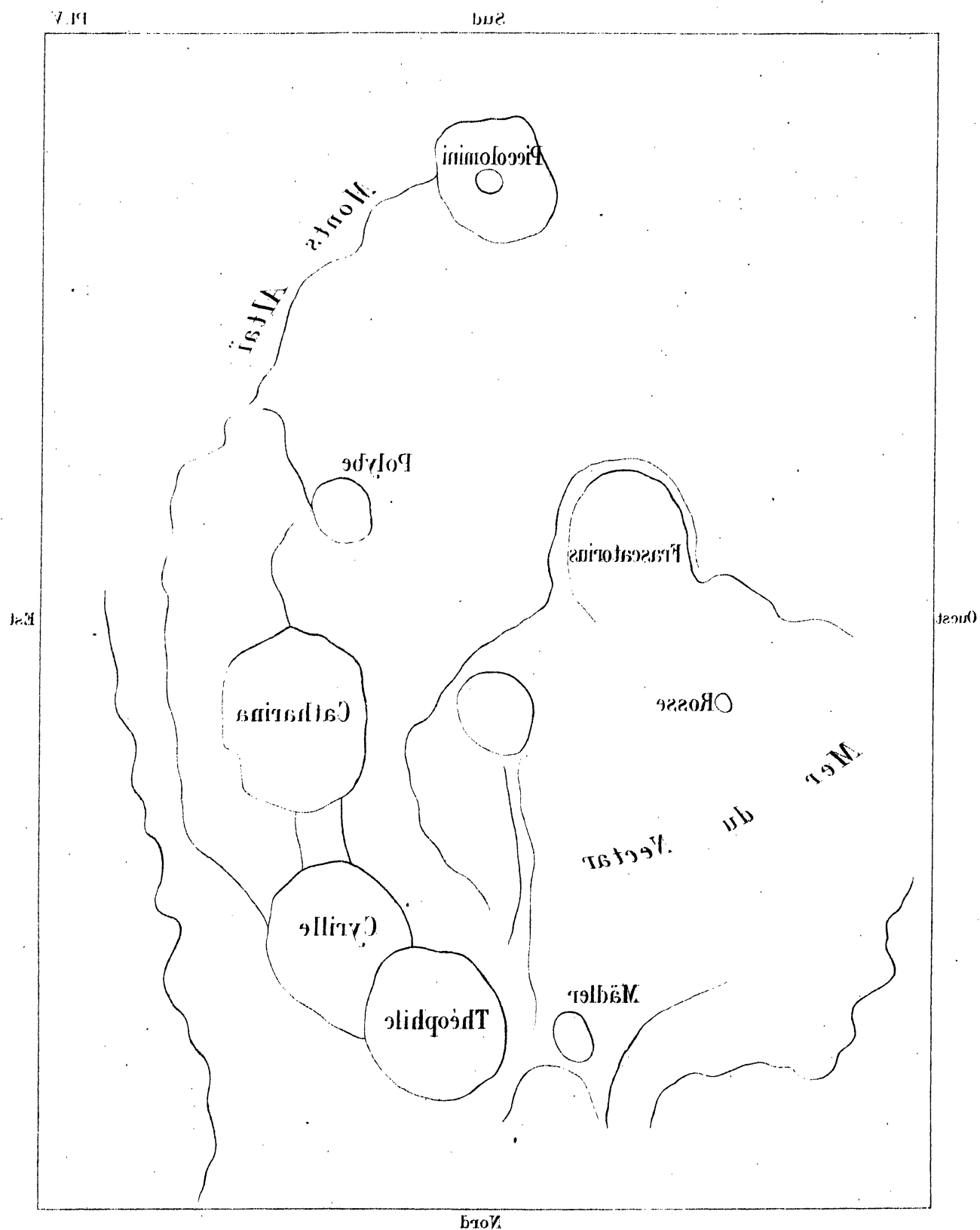
Photocollographie J. Royer, Nancy.

1895, AVRIL 1. — 8 H. 6 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

Sud

Pl. V.



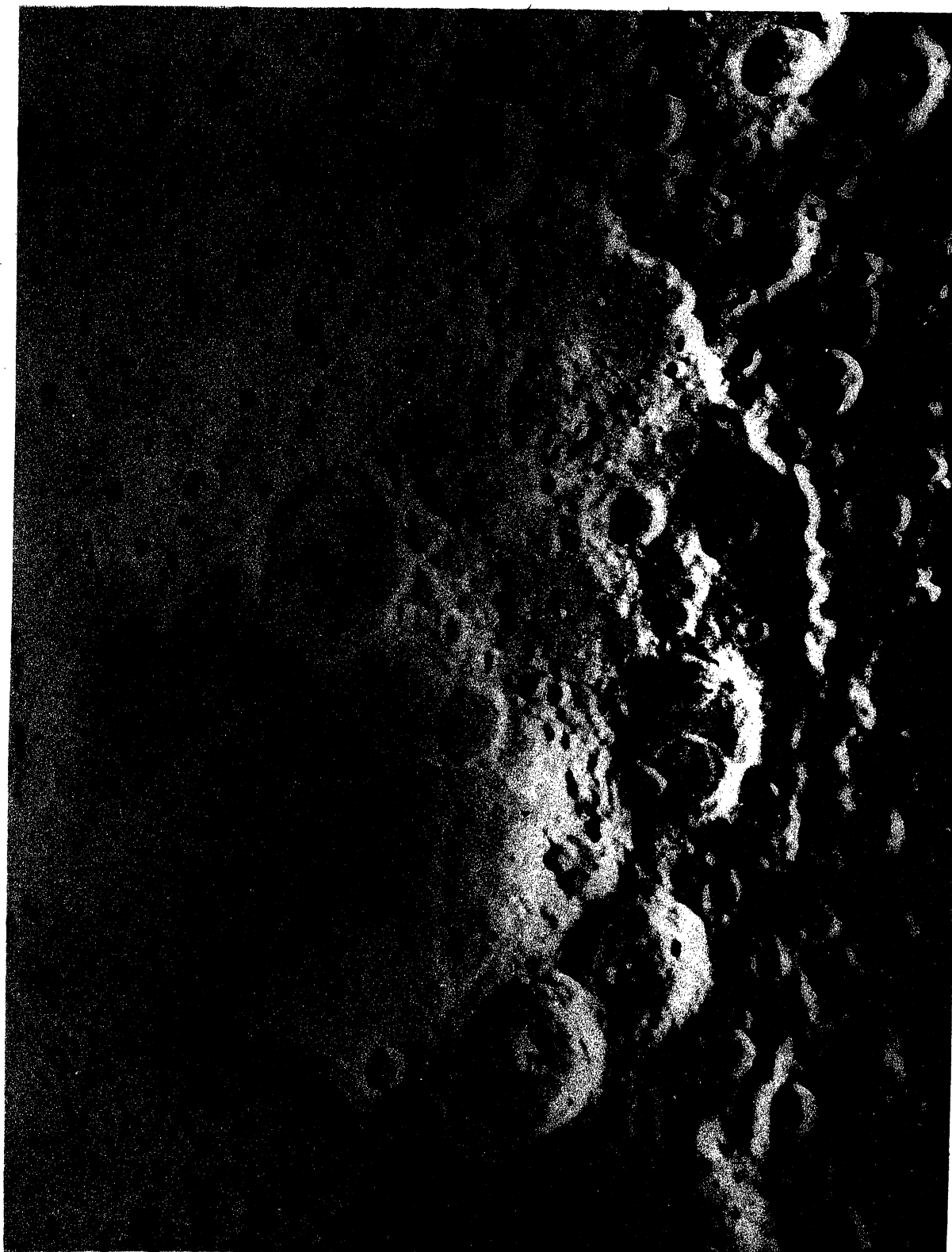


PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

Pl. v.

Agrandissement 5 fois

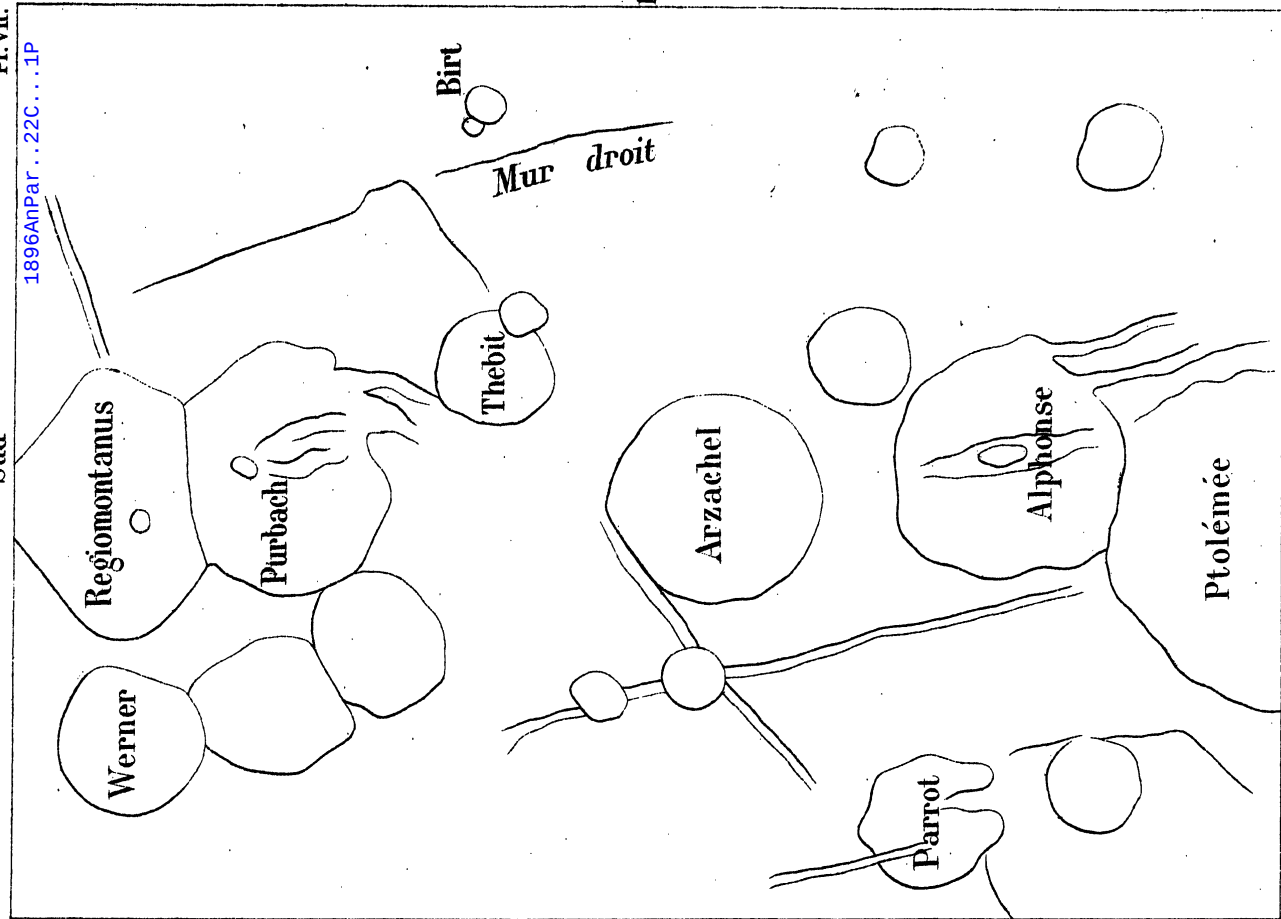


Phototype Loewy et Puiseux.

Photocollographie J. Royer, Nancy.

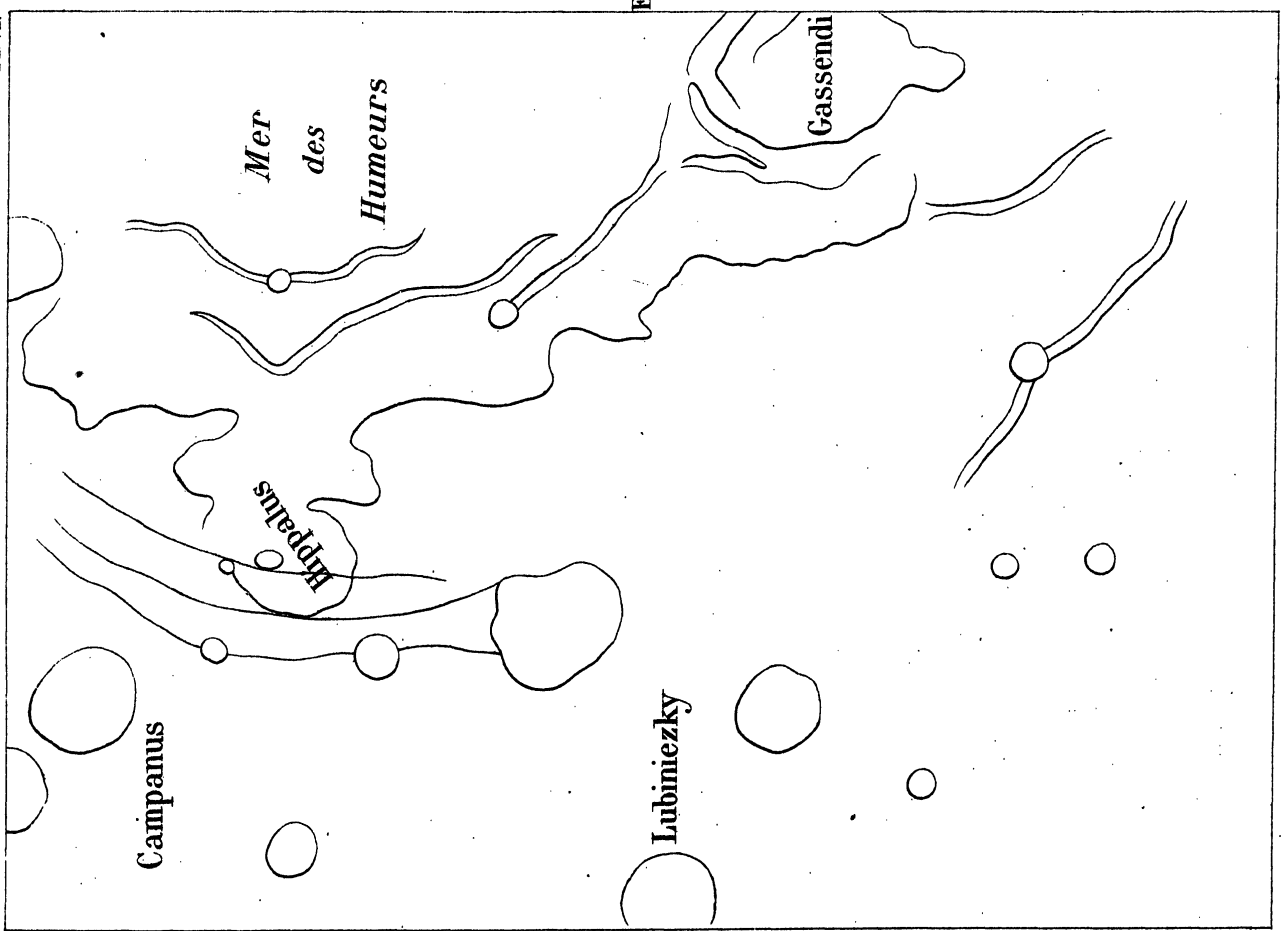
1895, AVRIL 30. — 8 H. 6 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

Sud



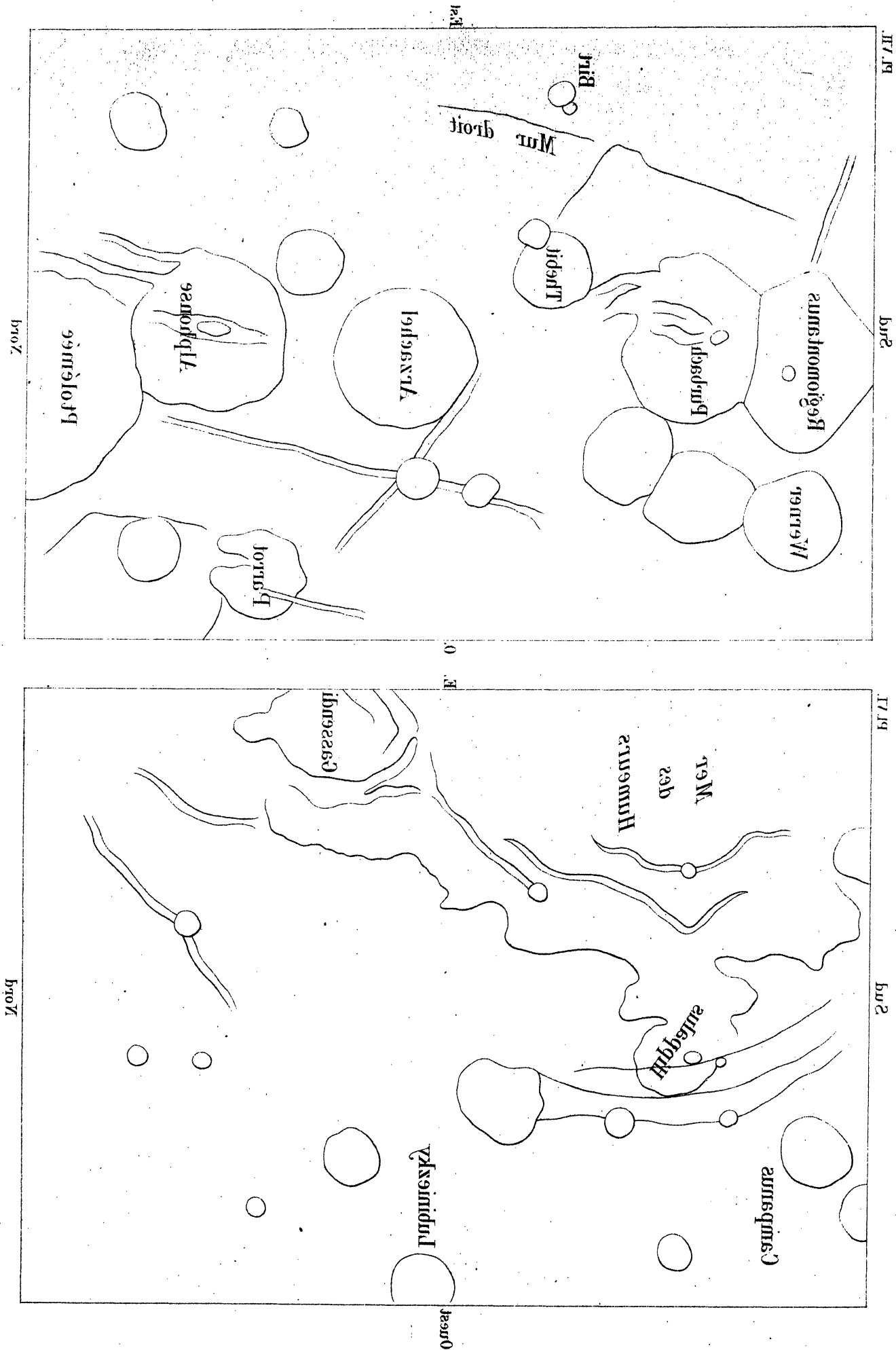
Pl. VI.

Sud



Nord

Nord

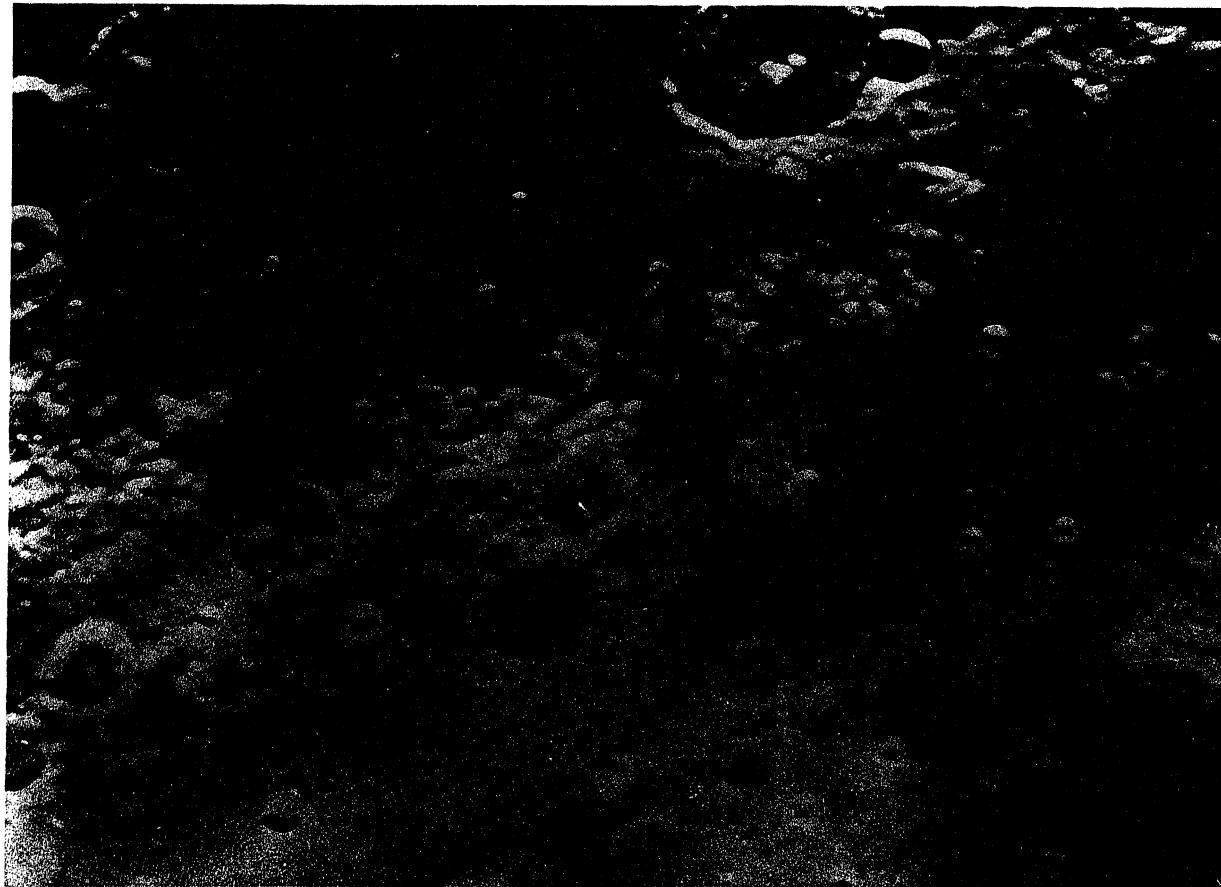


Grand Equatorial coude

Pl. VI.

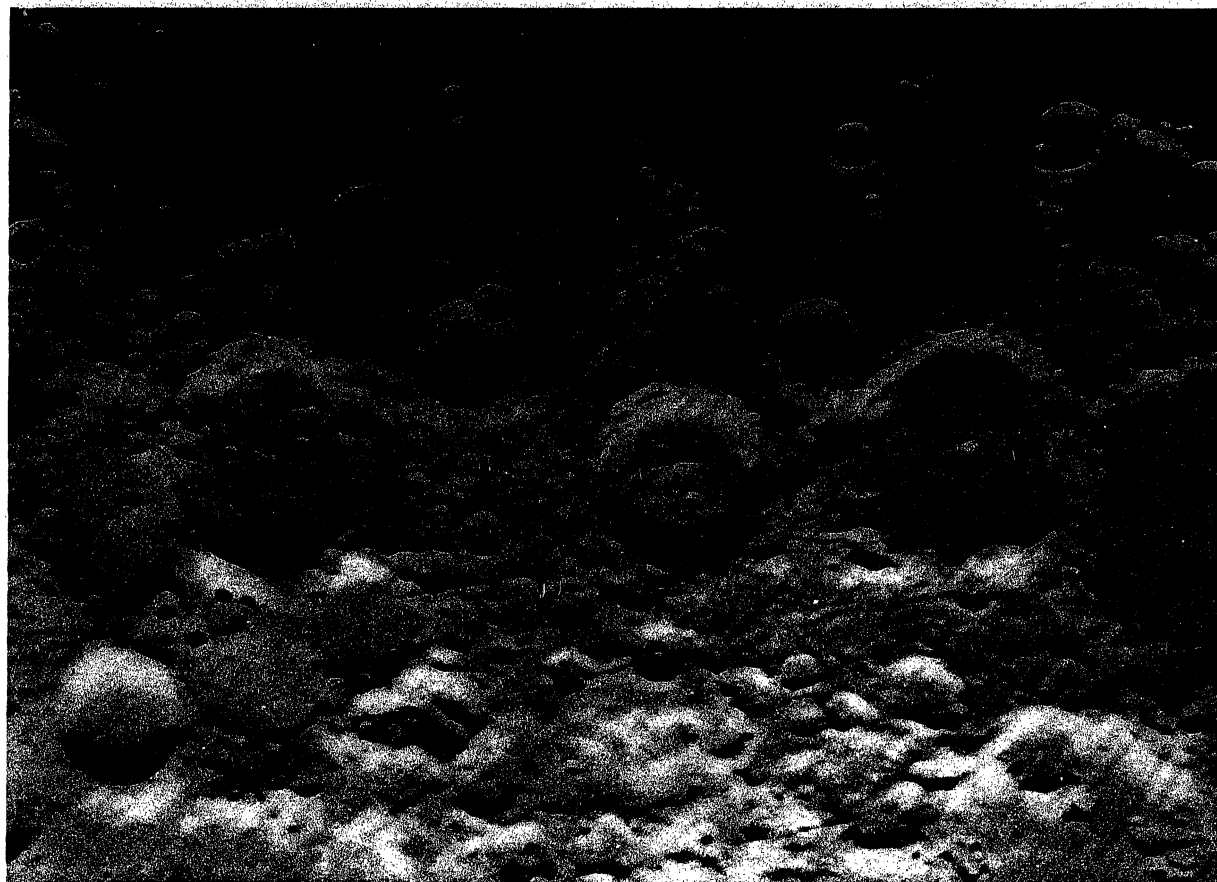
Pl. VII.

Agrandissement 5 fois.



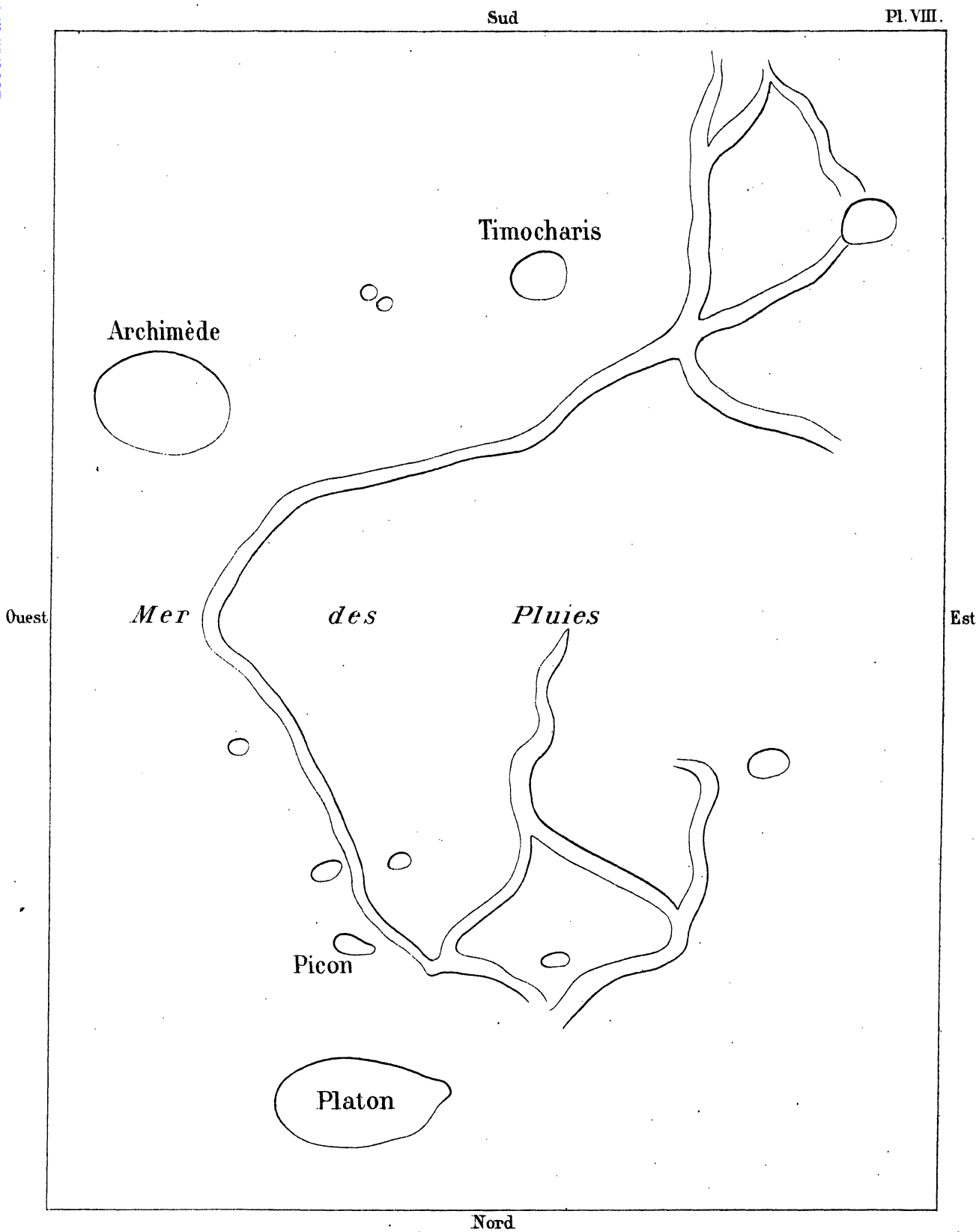
Phototype Loewy et Puisenx.

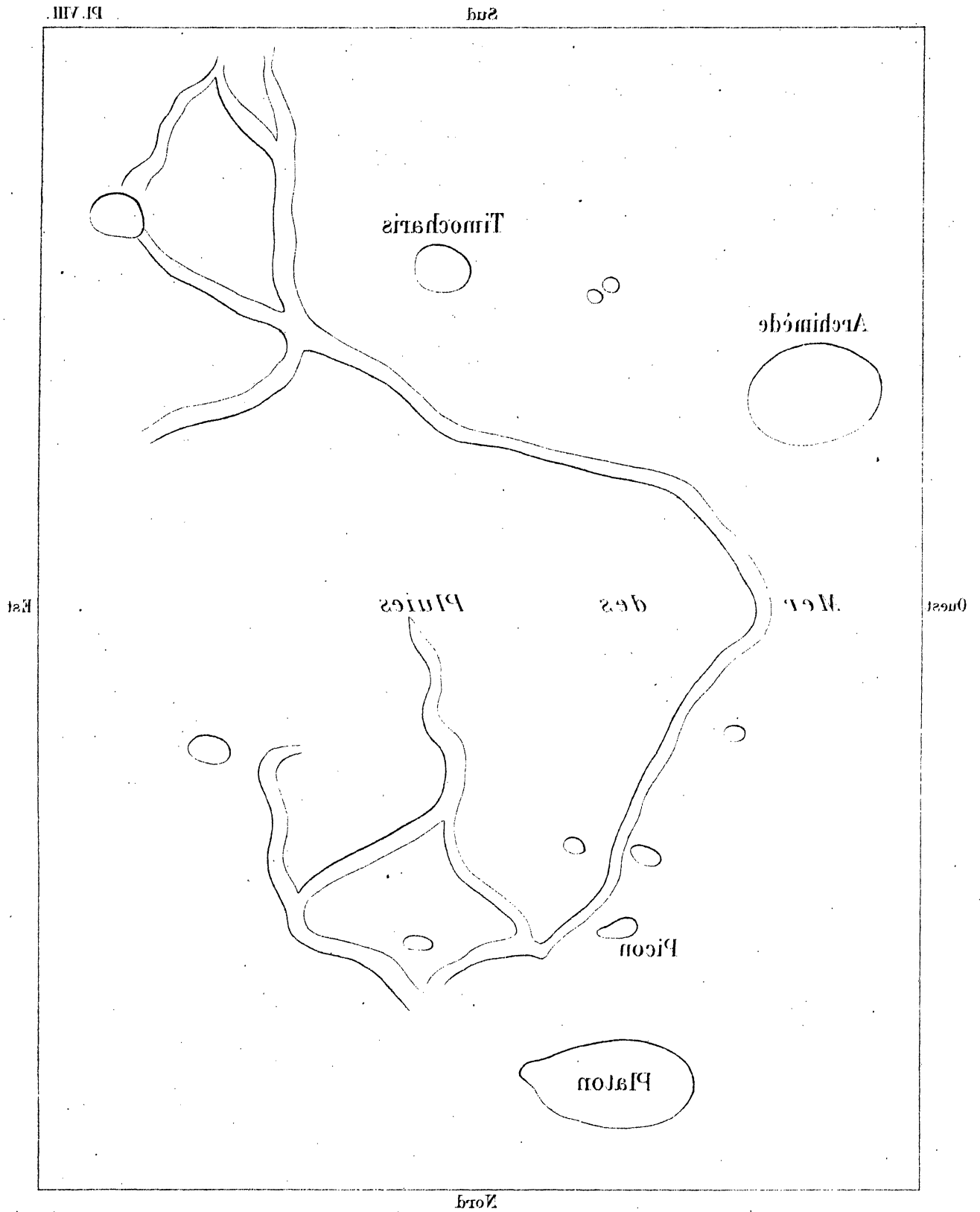
1894, FÉVRIER 16. — 9 H. 32 M. TEMPS MOYEN DE PARIS



Photocollographie J. Royer, Nancy.

1895, MARS 4. — 6 H. 39 M. TEMPS MOYEN DE PARIS





PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

PL. VIII.

Agrandissement 5 fois



Phototype Loewy et Puiseux.

Photocollographie J. Royer, Nancy.

1895, MARS 5. — 6 H. 51 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

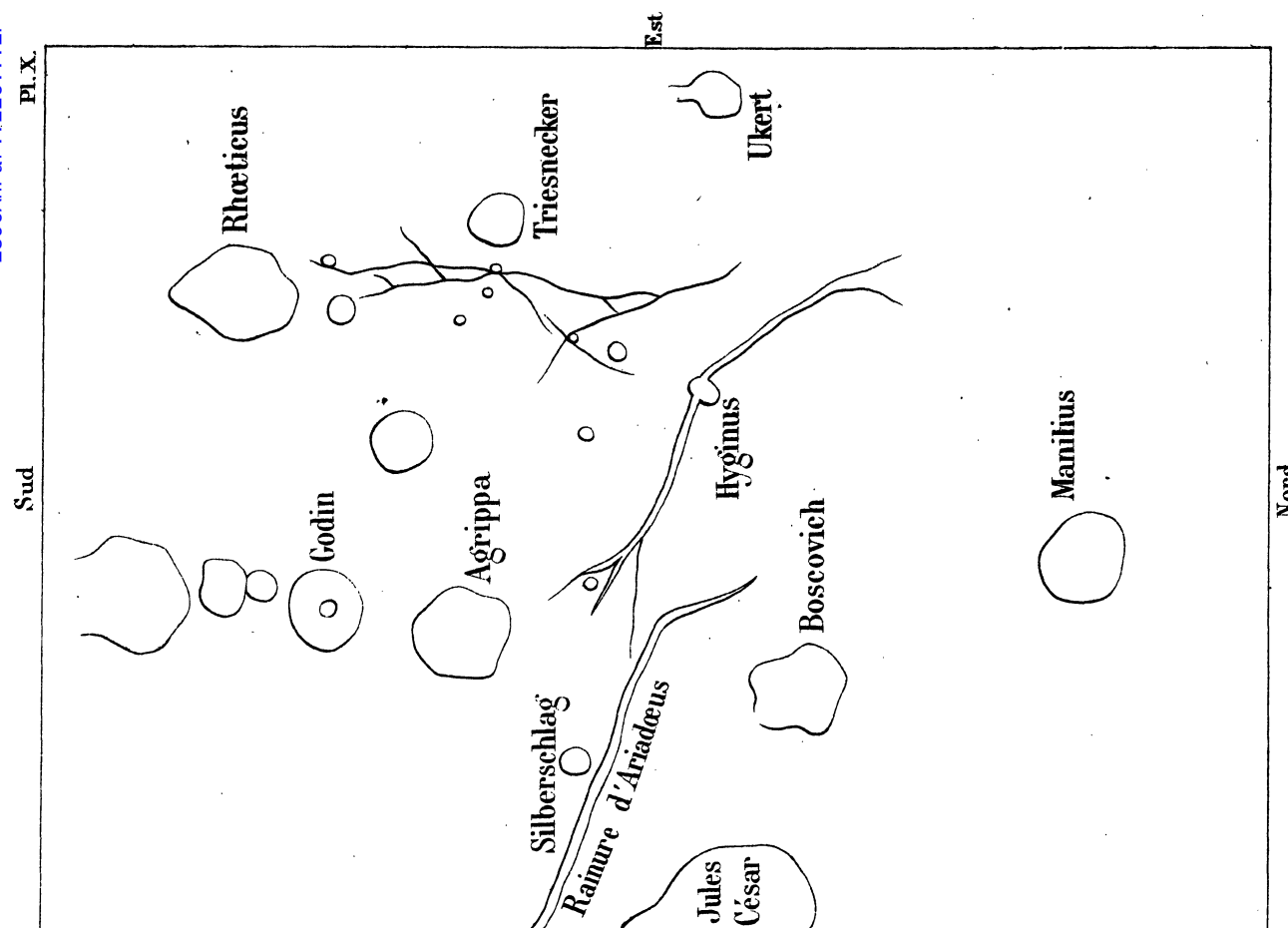
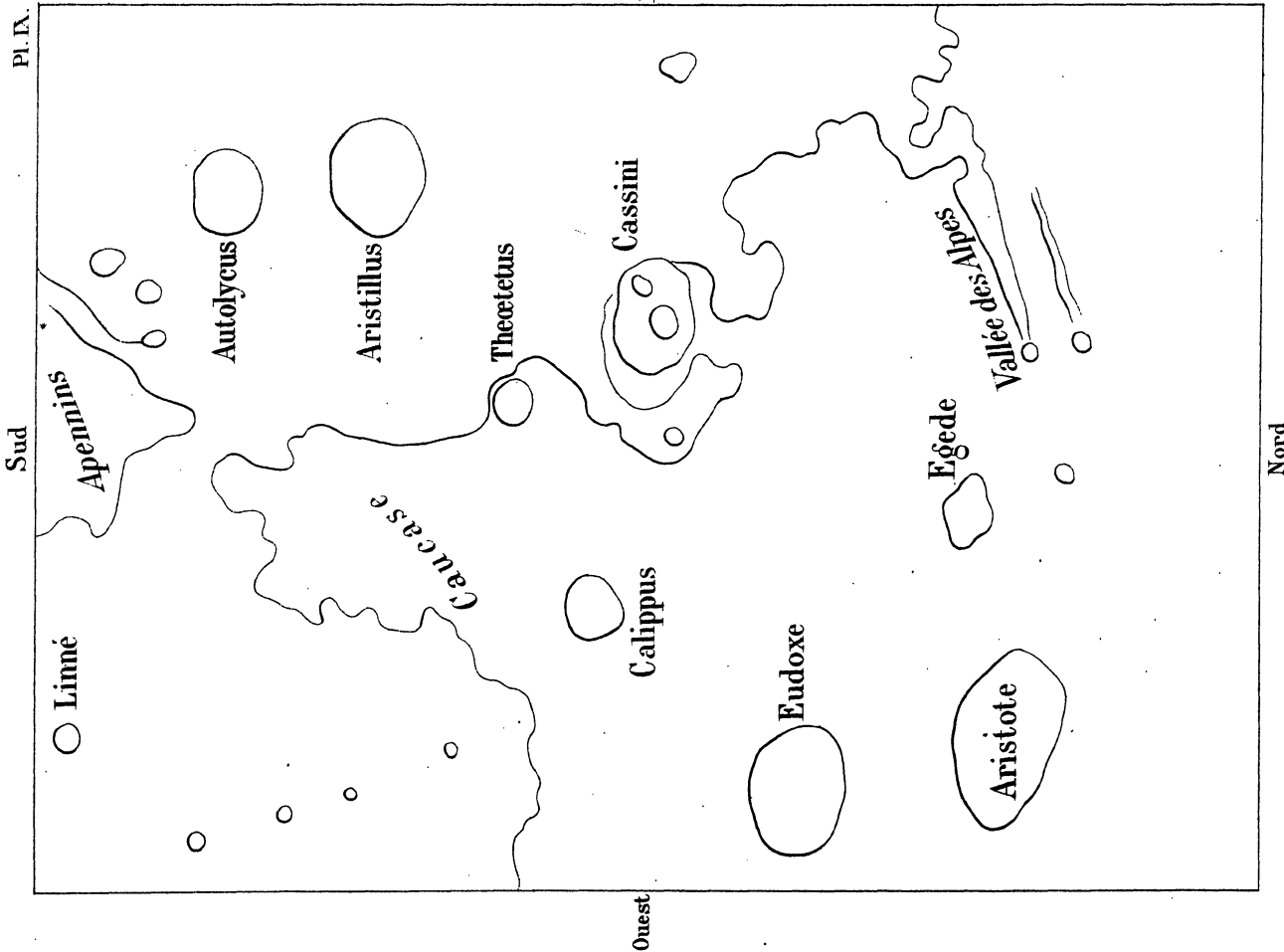
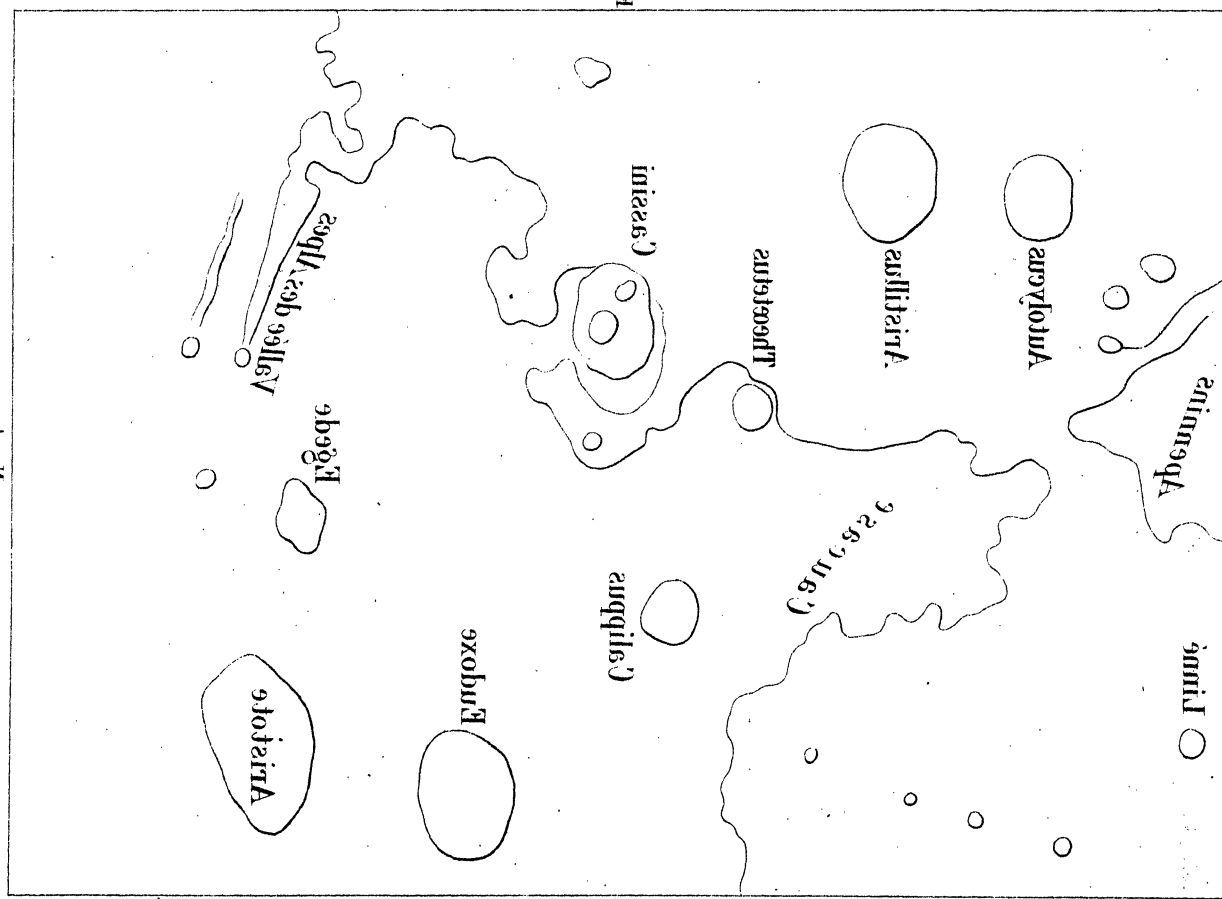
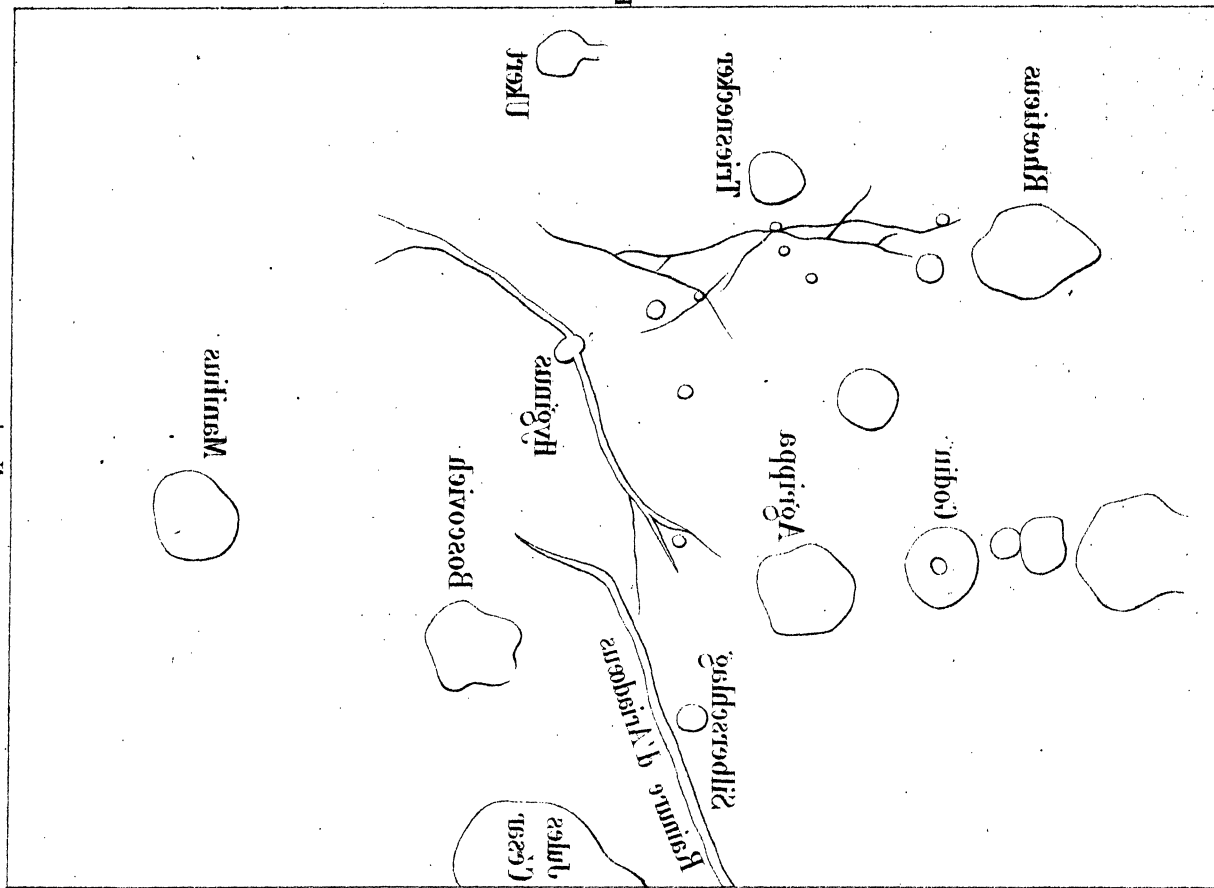


Fig. 1

Fig. 2

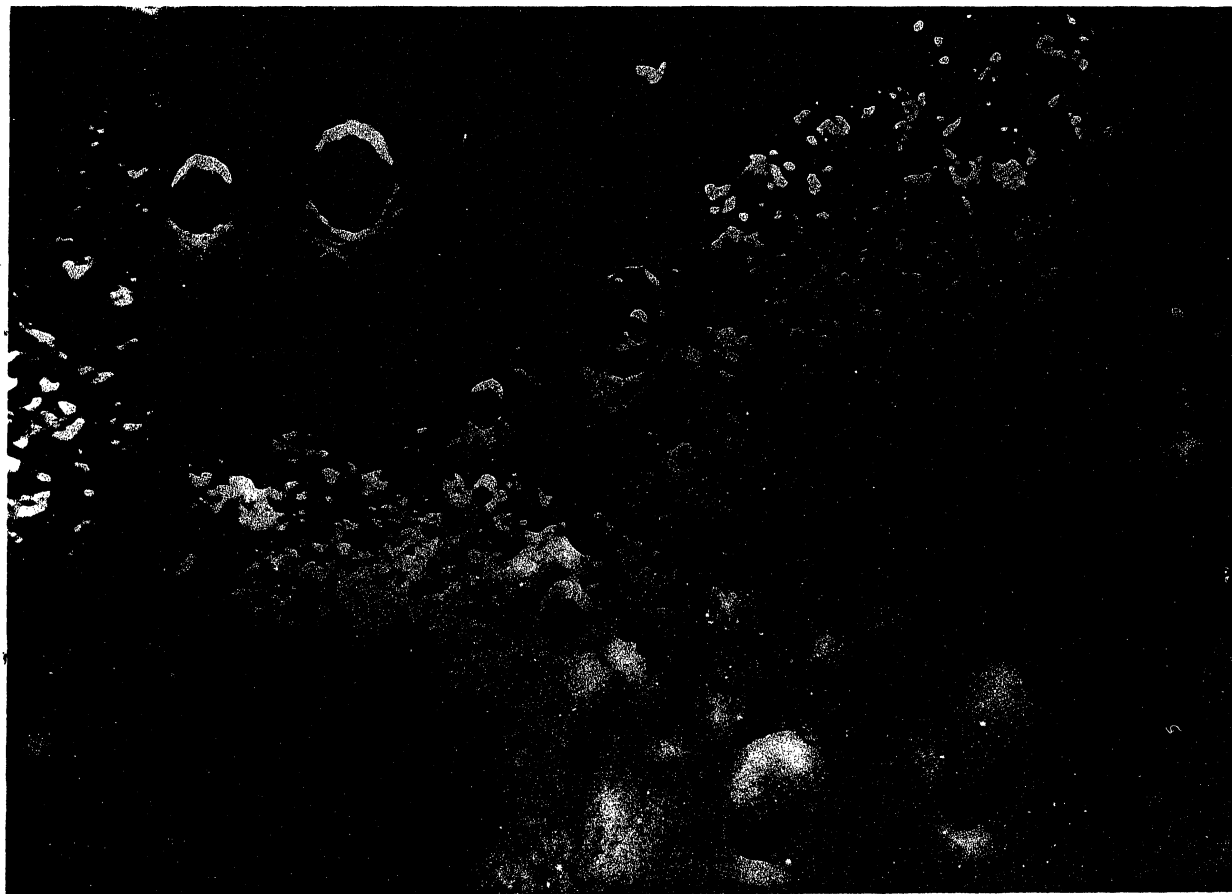
Fig. 3

Fig. 4



Grand Equatorial condé

Pl. ix.

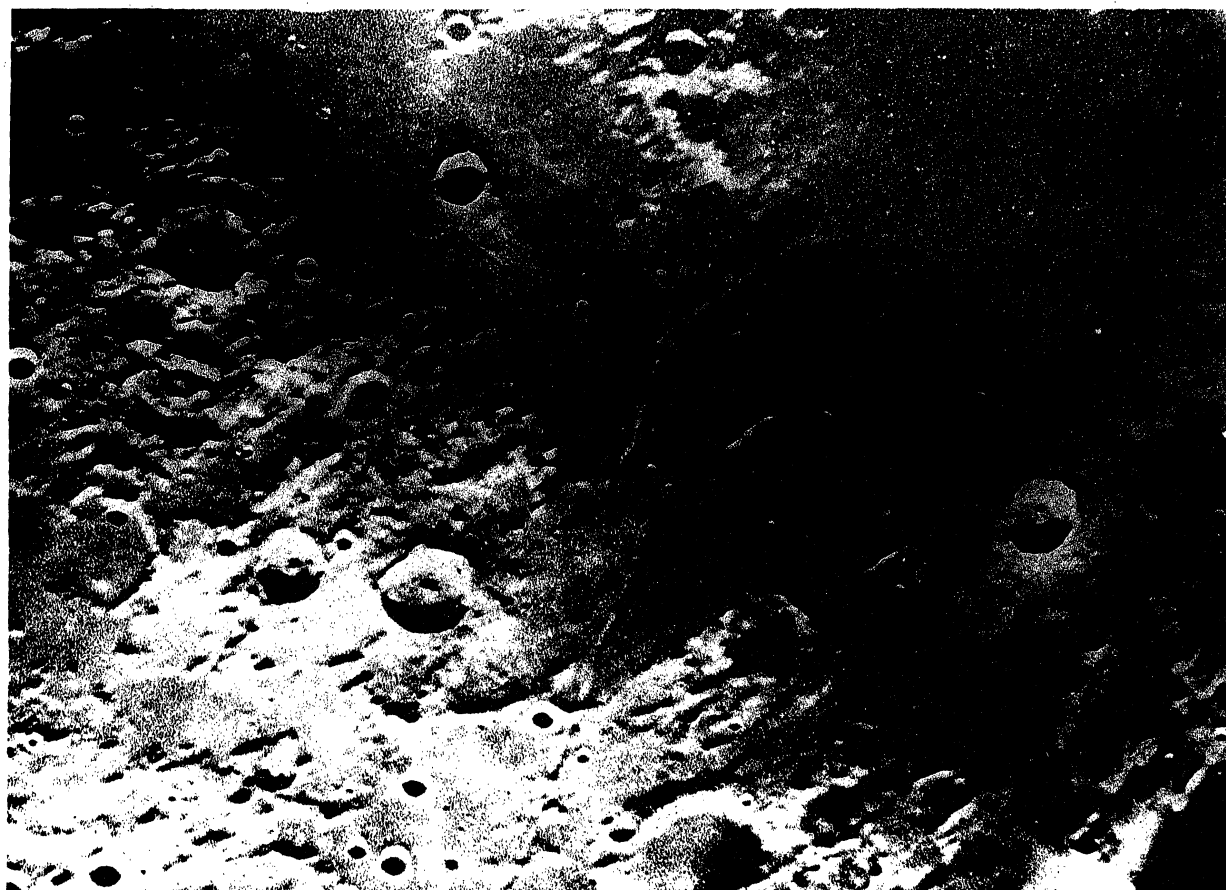


Phototype Leovy et Puisieux.

1894, MARS 14 — 7 h. 38 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

Agrandissement 5 fois

Pl. x.



Photocollographie J. Royer, Nancy.

1894, MARS 14. — 7 h. 38 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

Sud

Pl. XI.

Sud

E. 0.

Ouest

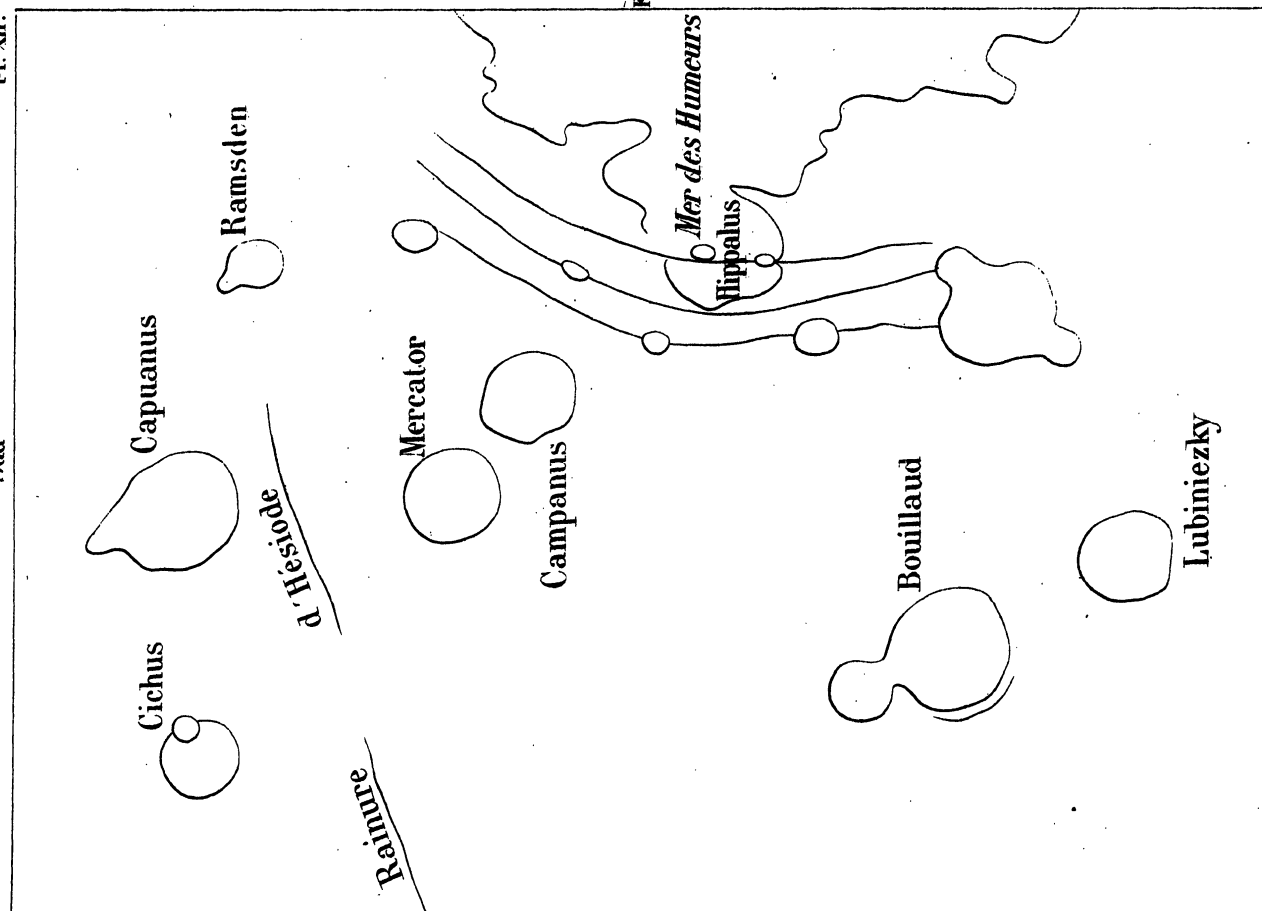
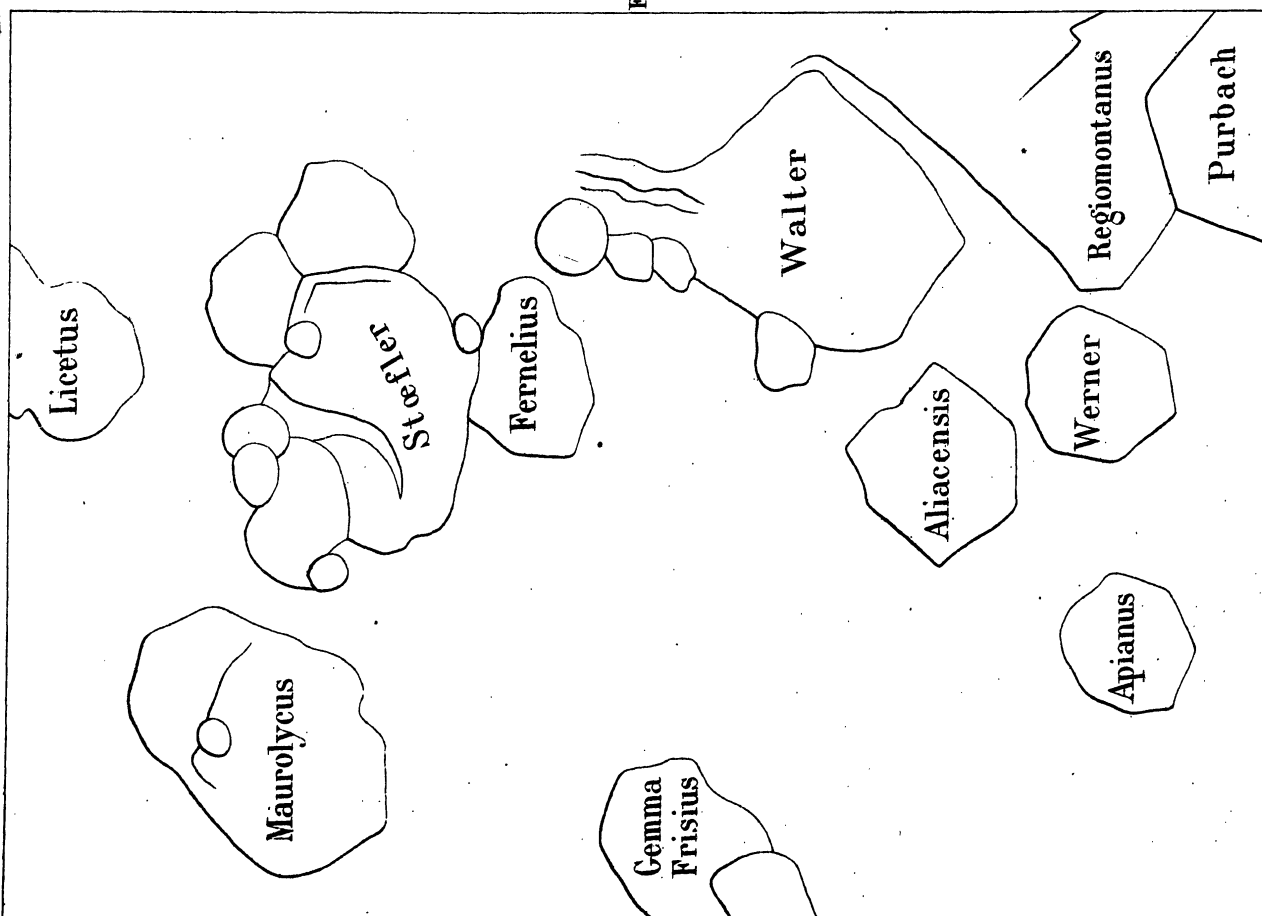
Est

Sud

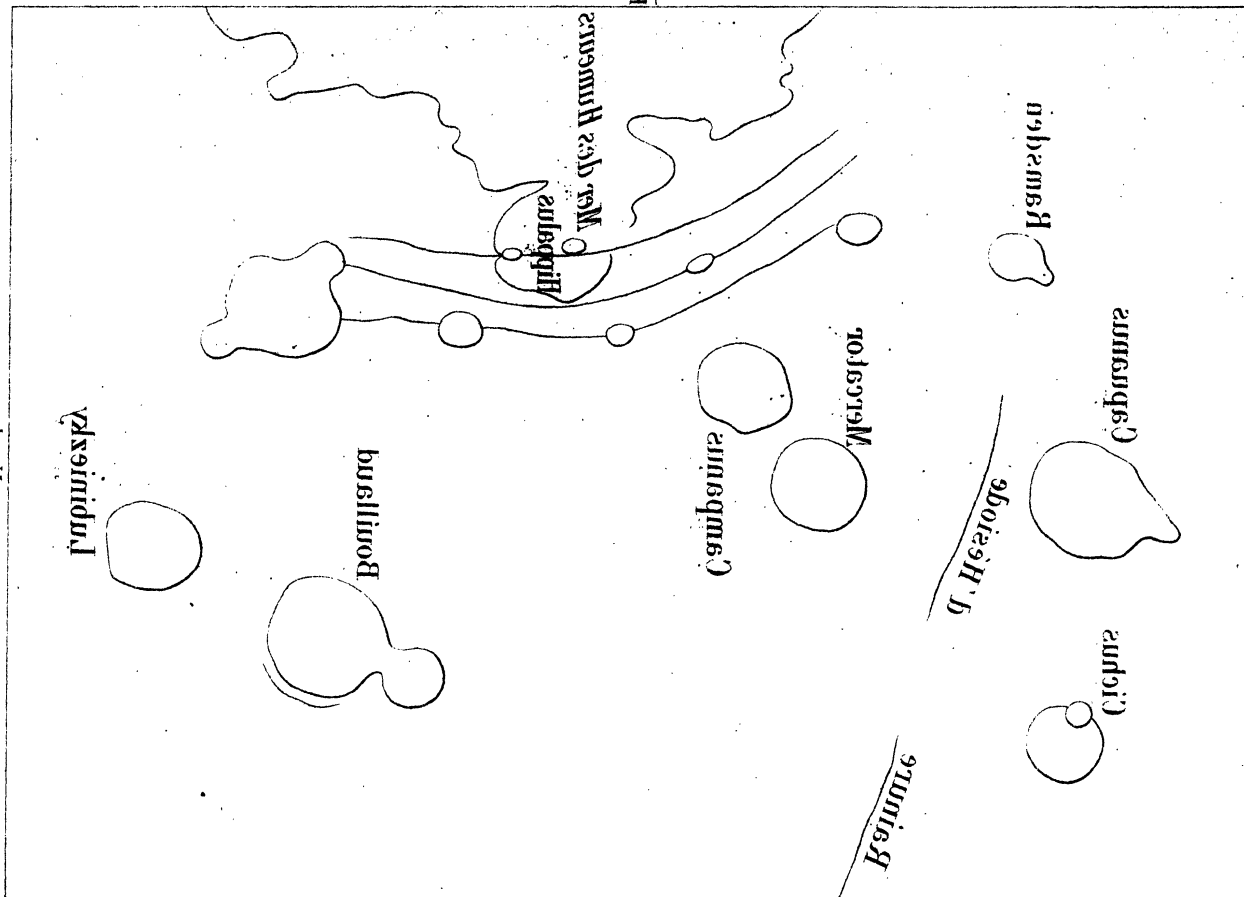
E.

Ouest

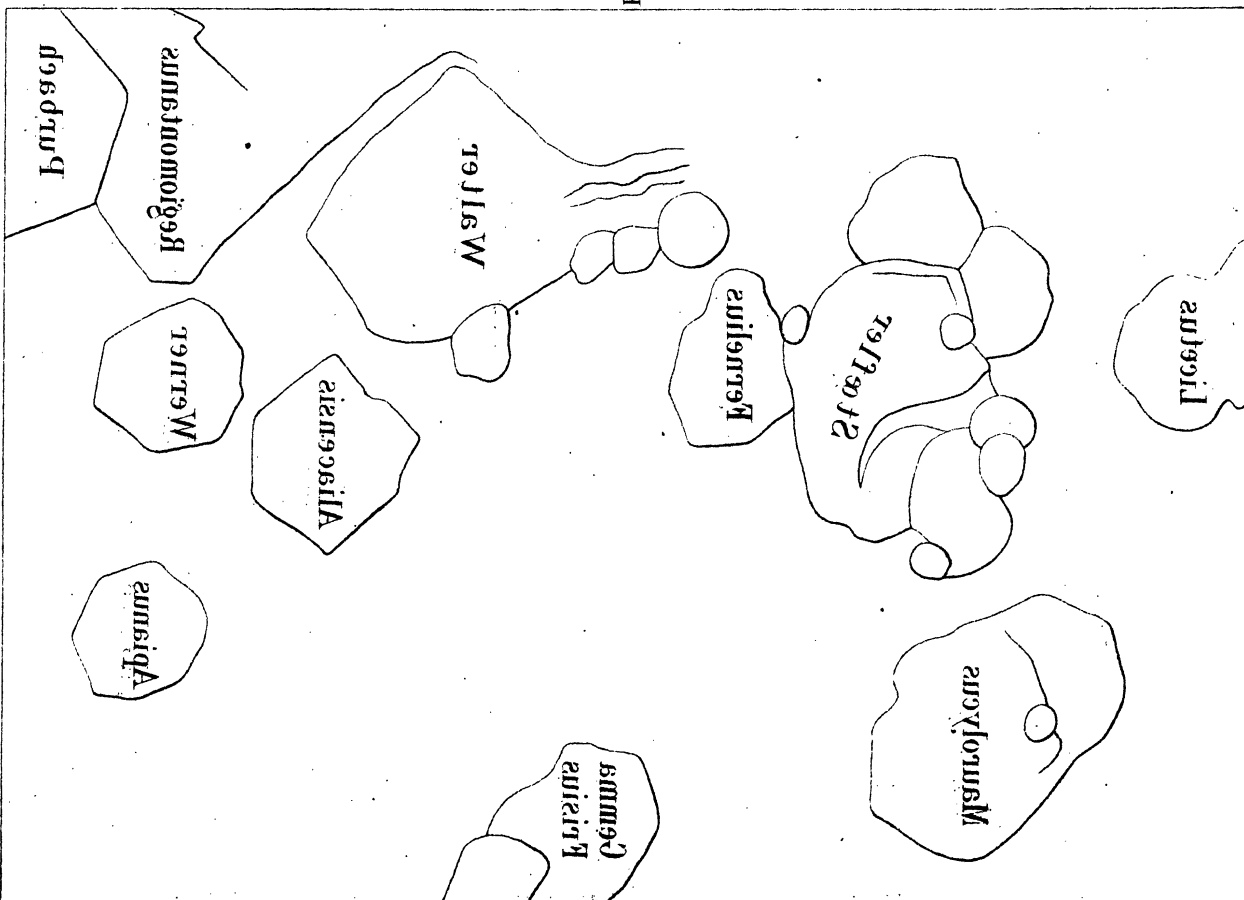
Est



North

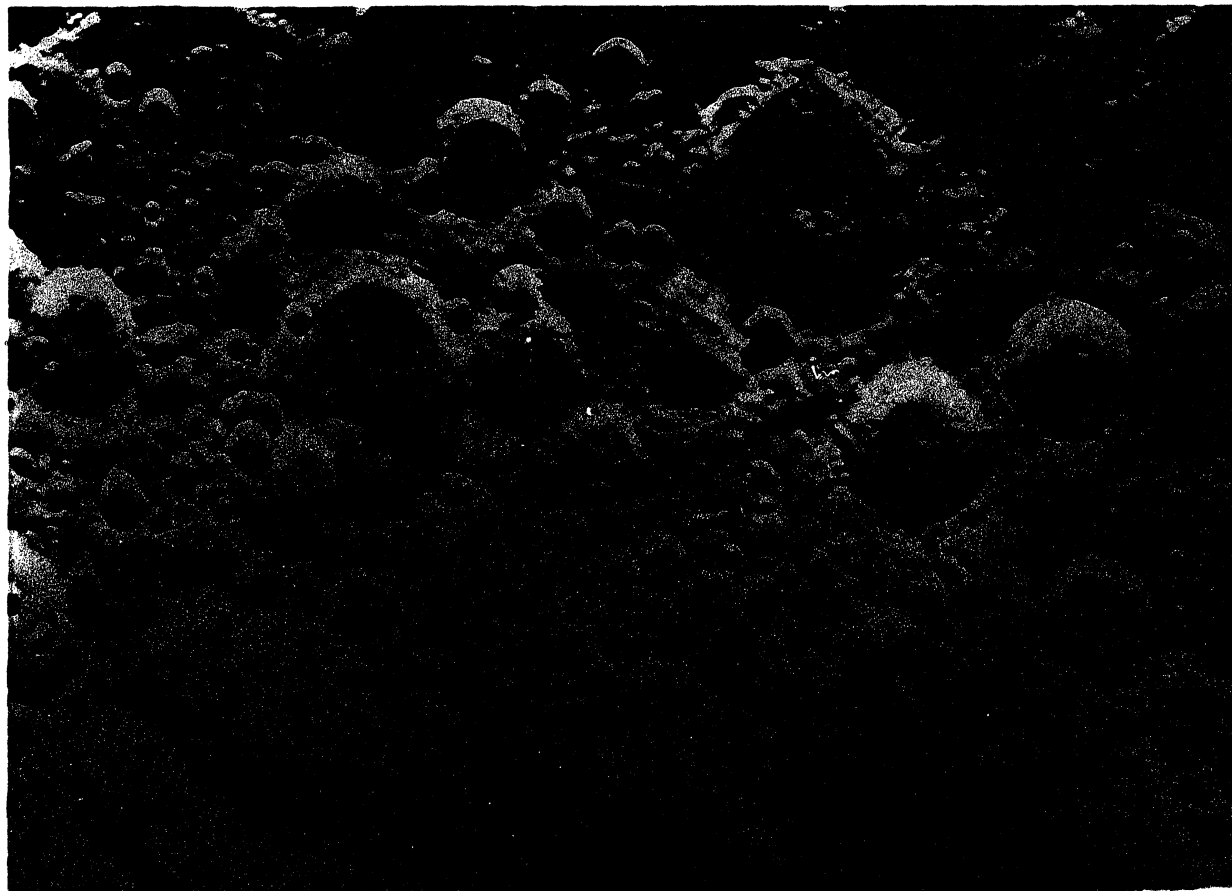


South



Grand Equatorial coude

Pl. xi.



Prototype Loewy et Puiseux.

1894, MARS 14 — 7 h. 38 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

Agrandissement 5 fois

Pl. xii.



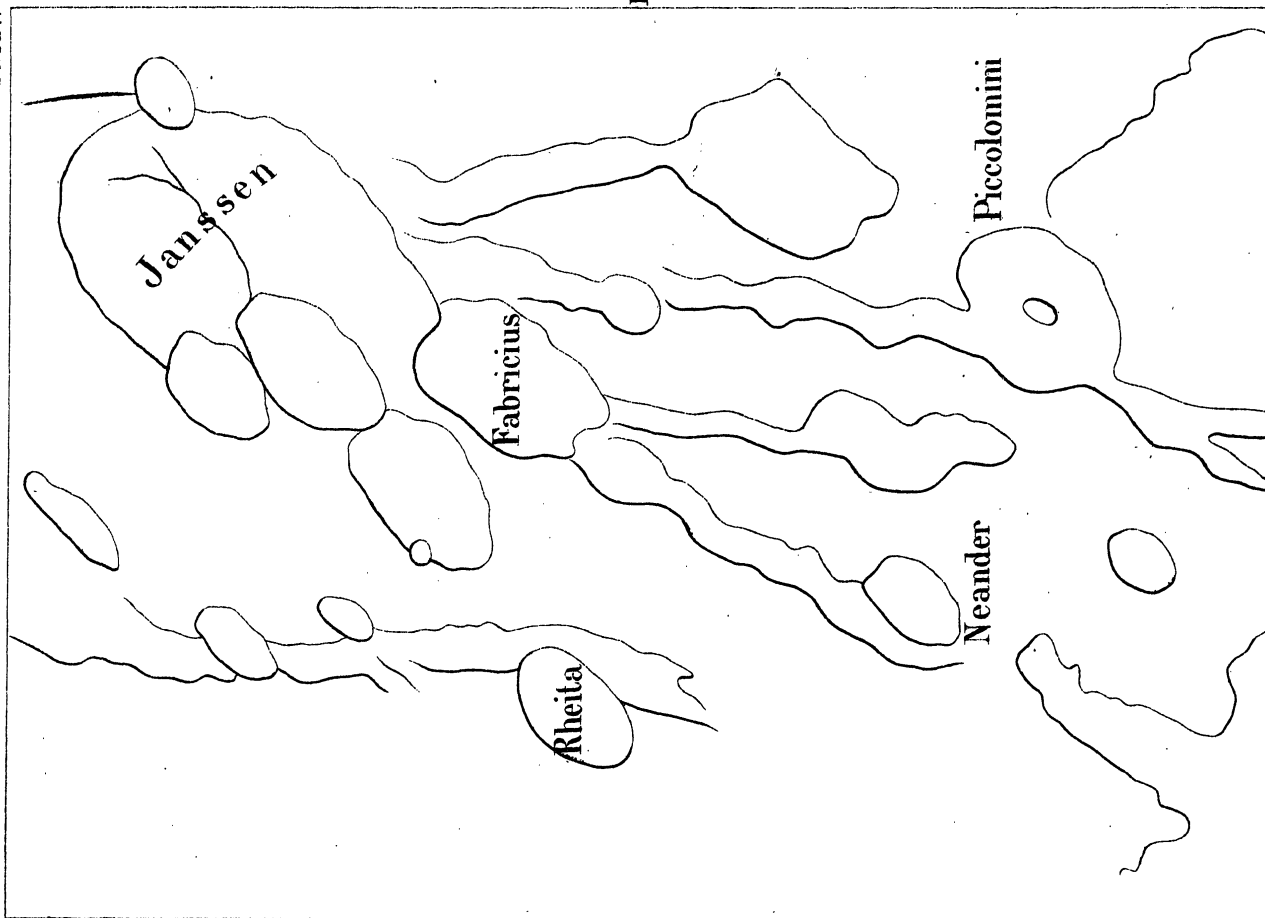
Photocollographie J. Royer, Nancy.

1895, AVRIL 5. — 9 h. 55 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

Sud

Est

Nord



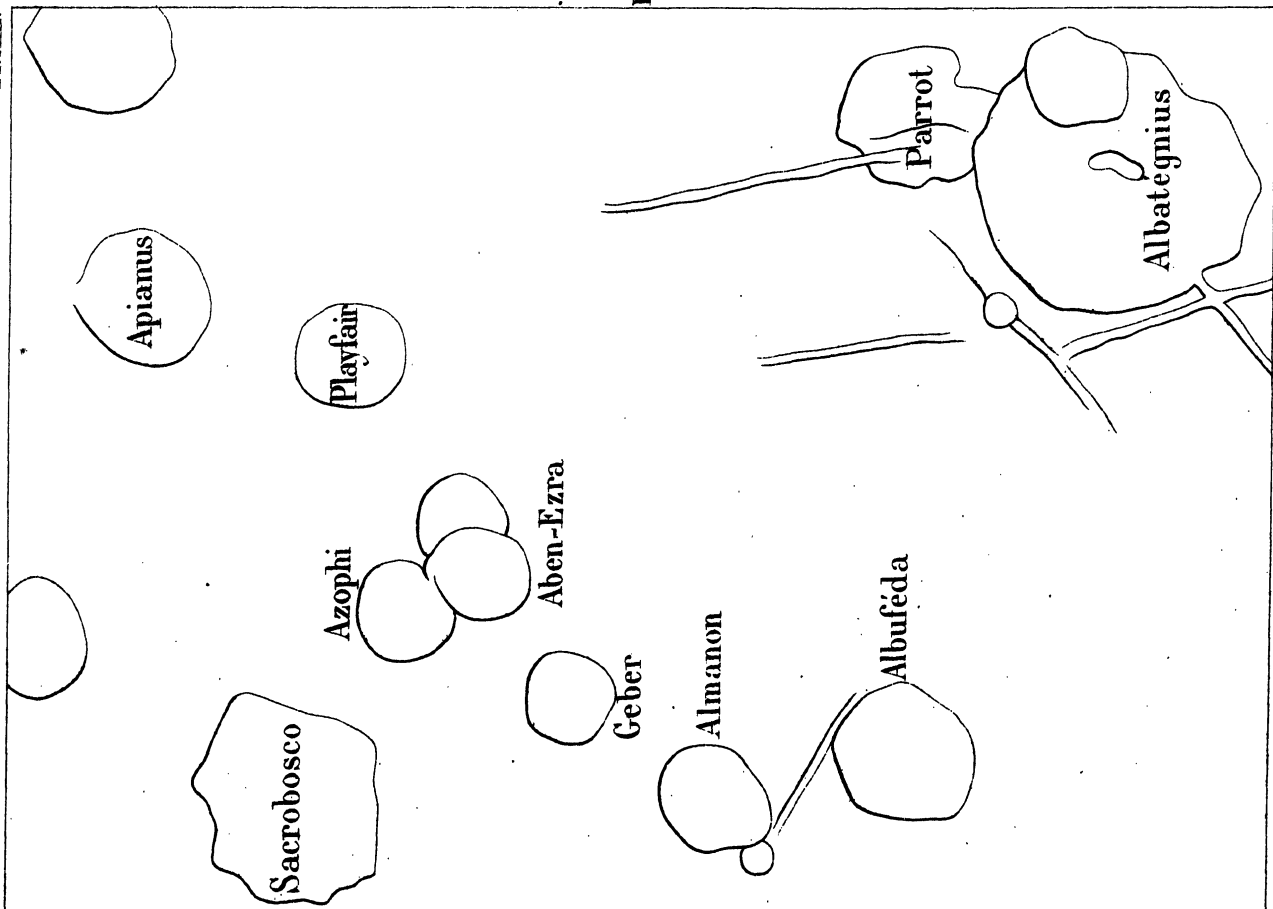
E. 0.

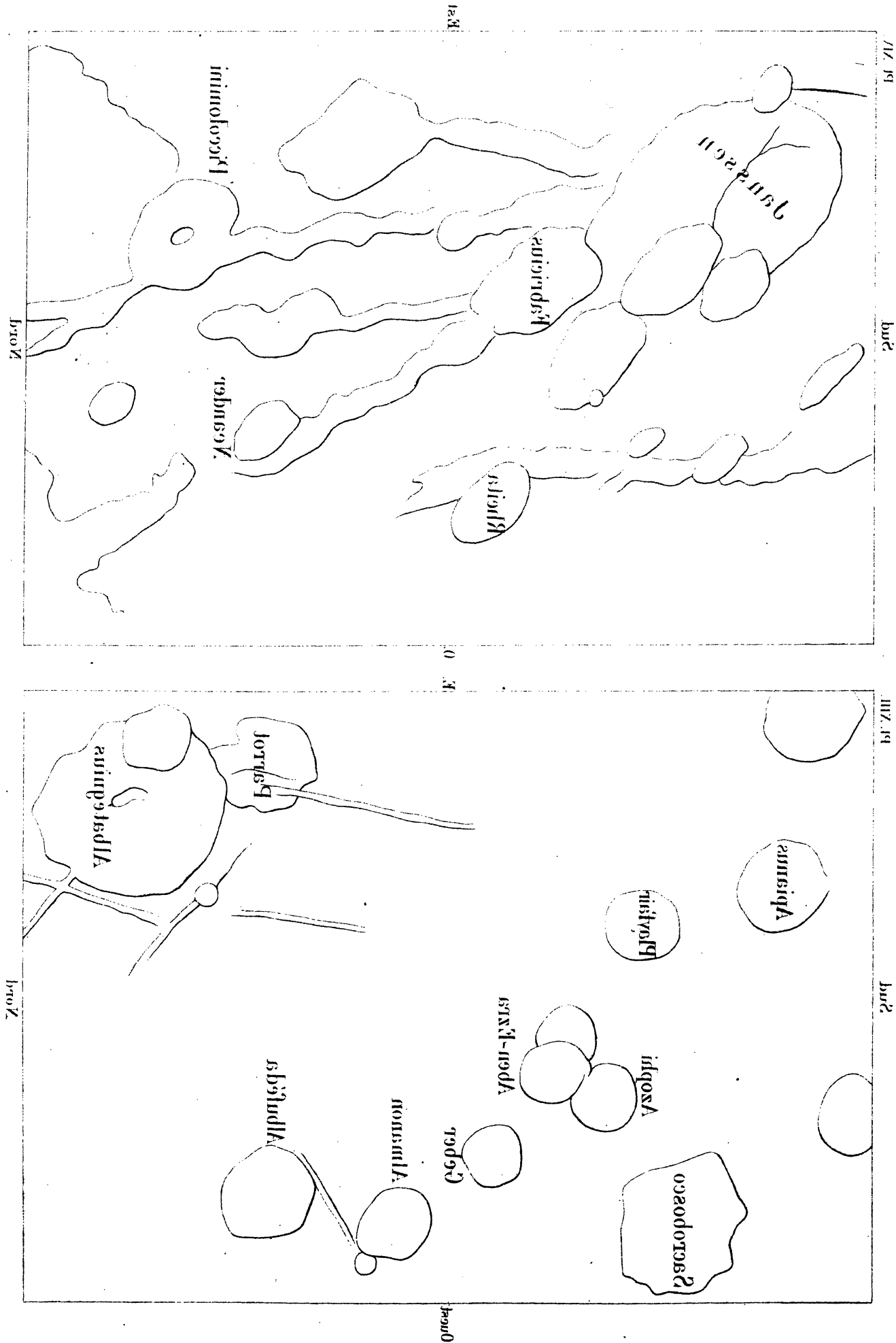
Pl. XIII.

Sud

Ouest

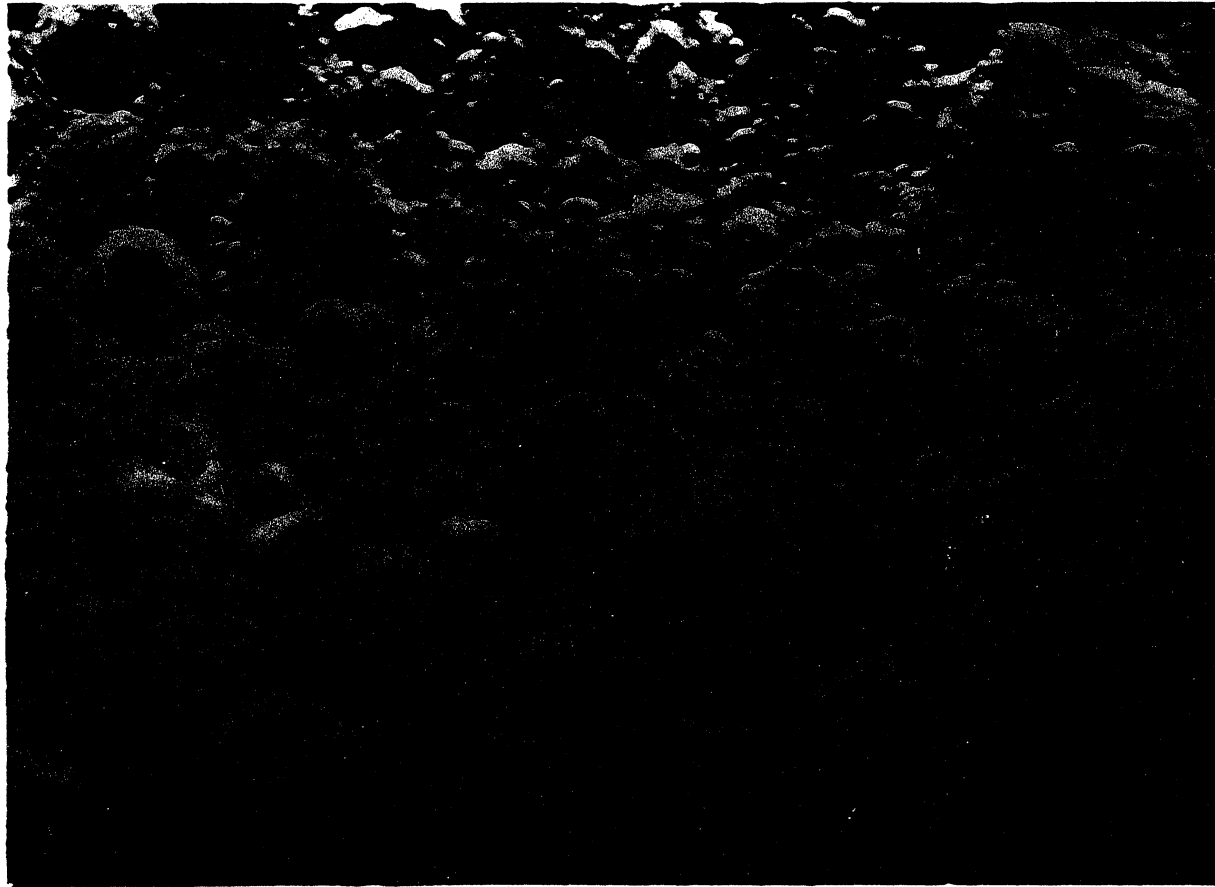
Nord





Grand Equatorial coudé

Pl. xiii.



Phototype Loewy et Puitsaux.

1894, MARS 14. — 7 h. 38 m. TEMPS MOYEN DE PARIS

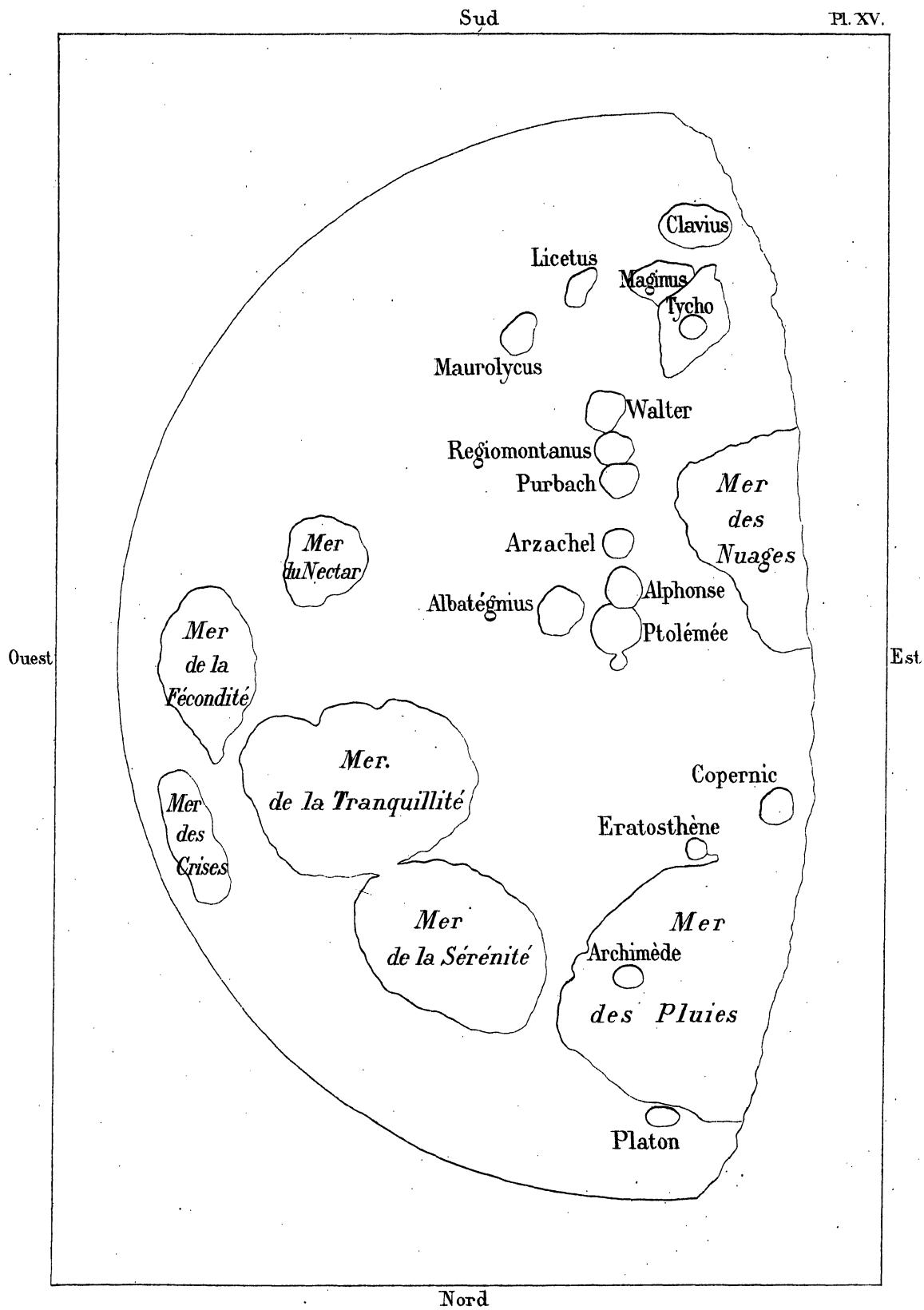
Agrandissement 5 fois

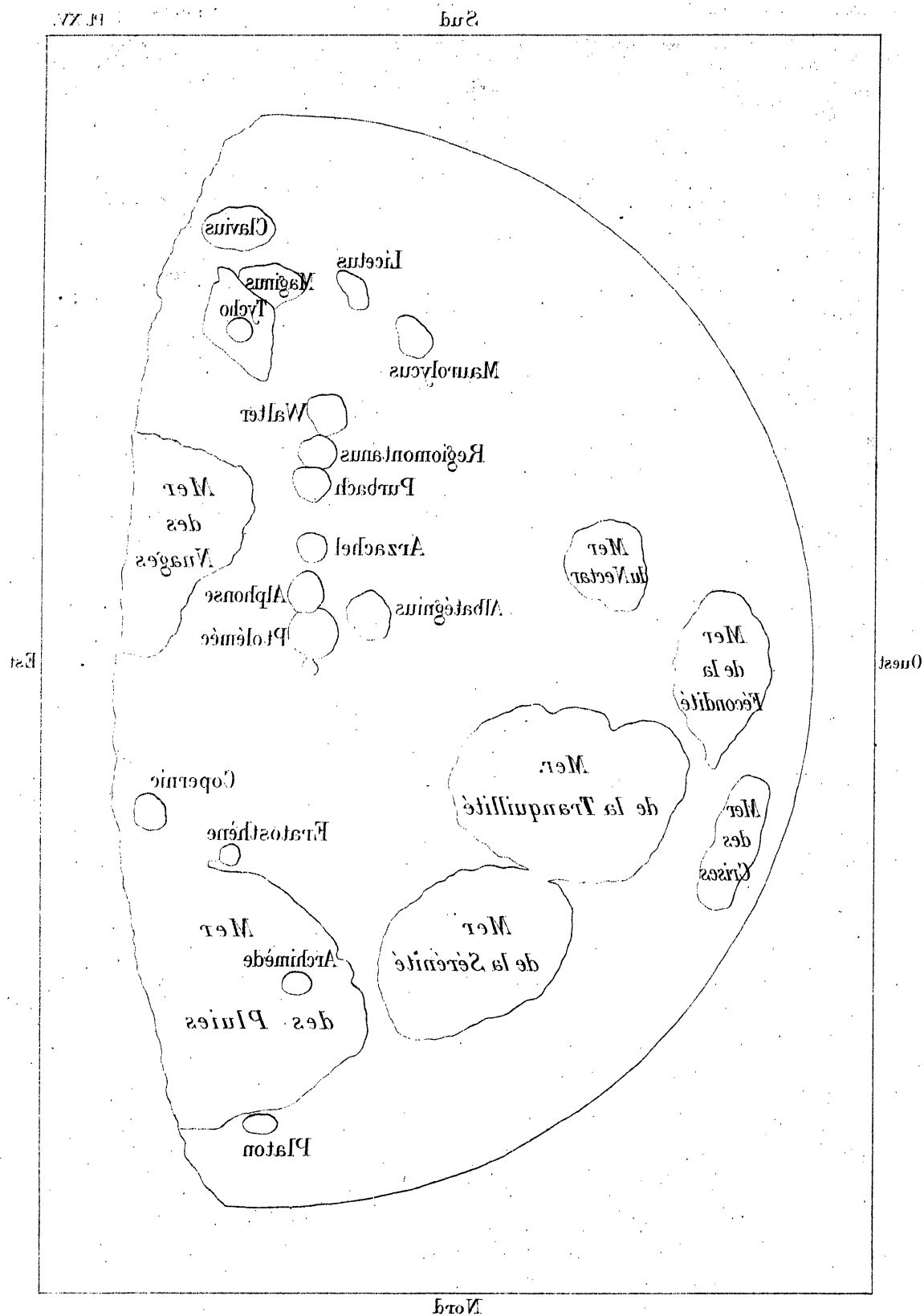
Pl. xiv.



Photocollographie J. Royer, Nancy.

1894, AVRIL 10. — 7 h. 52 m. TEMPS MOYEN DE PARIS



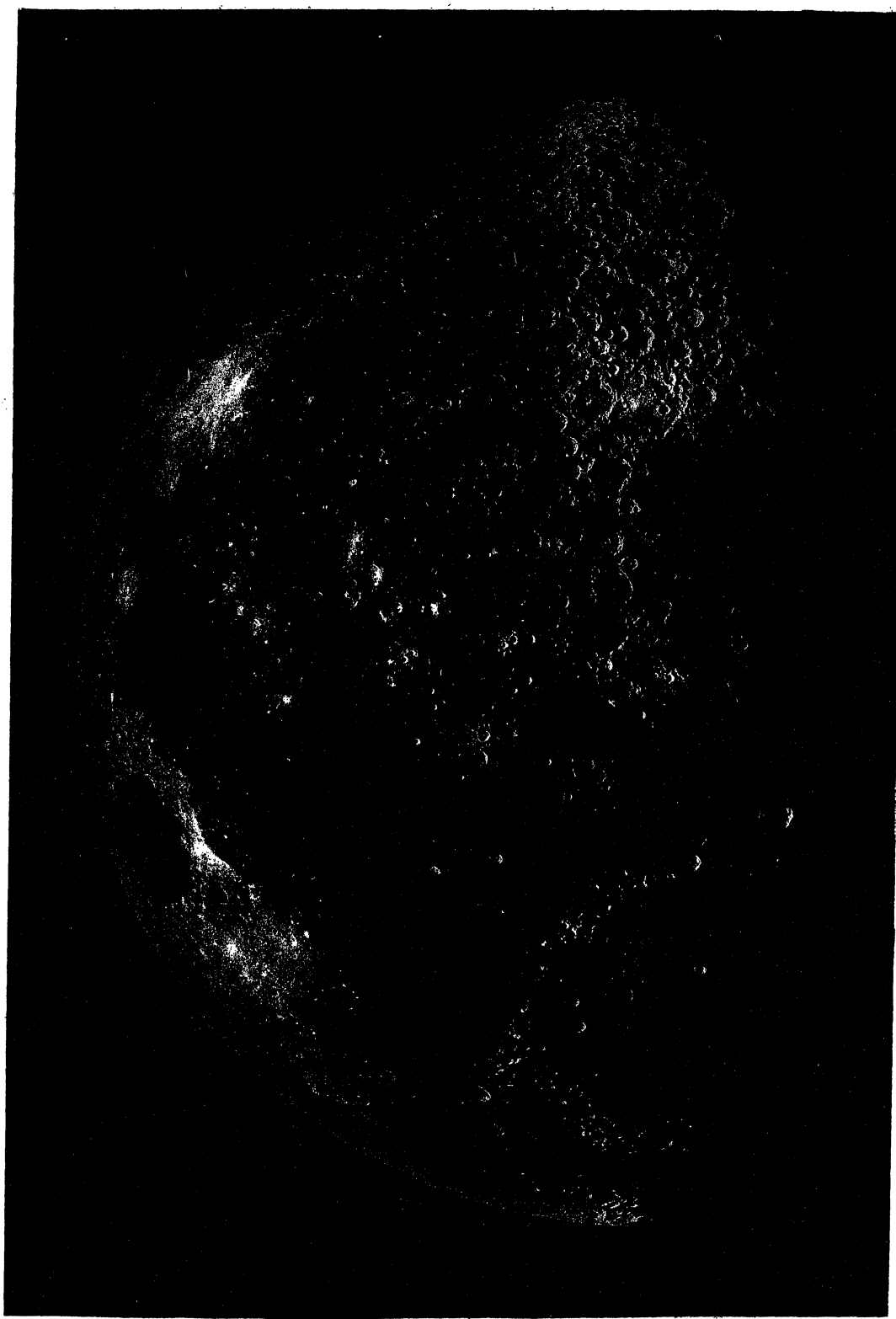


PHOTOGRAPHIE LUNAIRE OBTENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Grand Equatorial coudé

PL XV

Echelle du cliché original



Phototype Loewy et Puiseux

Héliog. Fillon et Heuse

1894. FÉVRIER 14. - 7. H. 27 M. TEMPS MOYEN DE PARIS

