

Saturne, le plus gros n'est pas le plus extérieur, mais le second avant-dernier; de même, pour les quatre de Jupiter, le plus grand est l'avant-dernier.

Or ces analogies ne s'expliquent pas avec la théorie des causes finales. S'il s'agit d'éclairage, et qu'on attribue cette utilité à ces corps secondaires, il eût été bien meilleur que les plus gros fussent les plus voisins : dans l'état présent, leur éloignement les rend d'un moins bon service que les plus petits. Mais, pour l'hypothèse de la nébuleuse, ces analogies sont une nouvelle force. Elles sont les signes d'une cause physique commune. Elles supposent dans la formation du tout une *loi*, qui vaut pour les systèmes secondaires aussi bien que pour le principal.

Il y a plus de lumière encore à tirer de la façon dont sont répartis les satellites, manquant ici, se trouvant là, et en plus ou moins grande abondance. C'est ici que la doctrine du plan préconçu est impuissante! Essayera-t-on de dire que les planètes plus voisines que nous du soleil n'ont pas besoin de lune? D'abord leurs nuits étant aussi obscures, et même, par comparaison avec leurs jours splendides, plus obscures que les nôtres, le besoin est bien aussi pressant; et, de plus, que dire de Mars, qui, étant une fois et demie plus loin que nous du soleil, n'a pas de lune? Et comment expliquer le sort d'Uranus, qui, deux fois plus éloigné que Saturne, n'a pourtant qu'une fois et demie autant de lunes? Mais, si l'explication vulgaire est ici insoutenable, l'hypothèse de la nébuleuse nous permet de tout comprendre. Elle nous met en état de prédire, à l'aide d'un calcul plus compliqué, où les satellites devaient

abonder, où ils devaient manquer. Suivez ce raisonnement.

Dans un sphéroïde nébuleux qui se concentre en forme de planète, il y a en activité et en opposition deux forces : la force centripète et la force centrifuge. Tandis que la gravitation tend à réunir tous les atomes du sphéroïde, leur moment tangentiel peut se résoudre en deux composantes, dont l'une est opposée à la gravitation. Le rapport de cette force centrifuge à la gravitation varie, toutes choses égales d'ailleurs, comme le carré de la vitesse. Par suite, la condensation d'un sphéroïde nébuleux tournant sur son axe sera combattue plus ou moins puissamment par cette tendance centrifuge de ses particules, selon que la rotation sera plus ou moins énergique : la résistance à la condensation dans des sphéroïdes égaux devenant quadruple quand la vitesse de rotation double, neuf fois plus grande quand cette vitesse triple, et ainsi de suite. Maintenant, pour que d'une masse nébuleuse, en voie de produire une planète, il se détache un anneau, il faut qu'à la zone équatoriale de cette masse la force centrifuge produite par la concentration soit arrivée à balancer la gravitation. Il est assez clair dès lors qu'il se détachera plus souvent des anneaux de l'une des masses où le rapport de la force centrifuge à la gravitation est le plus grand. Sans doute, on ne peut calculer le rapport primitif de ces deux forces dans le sphéroïde d'où chaque planète est née, mais on peut déterminer où il a été le plus grand et où le plus petit. A vrai dire, le rapport actuel de la force centrifuge à la gravité, à l'équateur de chaque planète, diffère grandement de ce qu'il a été aux temps primitifs de la condensation; à vrai dire encore, le changement



qu'a subi ce rapport dépend de la quantité dont chaque planète s'est contractée et par suite n'a pas été le même en deux planètes différentes; pourtant on peut bien admettre que, là où ce rapport est encore aujourd'hui plus grand qu'ailleurs, il a dû l'être aussi dès le commencement. La tendance que chaque planète a eue à former des satellites sera à peu près indiquée par la proportion qui chez elle existe actuellement entre la force de condensation et la force jadis opposée à la condensation. En faisant le calcul, on découvre un merveilleux accord entre cette prévision et les résultats. La table suivante donne en chaque cas le rapport de la force centrifuge à la force centripète, puis le rapport entre cette fraction et le nombre de satellites de la planète :

MERCURE	VÉNUS	LA TERRE	MARS	JUPITER	SATURNE	URANUS
$\frac{1}{362}$	$\frac{1}{282}$	$\frac{1}{289}$	$\frac{1}{326}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{6,2}$	$\frac{1}{9}$
		1 satellite		4 satellites	8 satellites et 3 anneaux	4 satellites (ou 6 selon Herschel)

Ainsi, prenant pour type la Terre avec son unique lune, nous voyons que Mercure et Mars, où la force centrifuge est moindre, n'a pas de lune. Jupiter, où elle est beaucoup plus grande, en a quatre. Uranus, où elle est encore plus considérable, en a sûrement quatre, et probablement davantage. Saturne, où elle atteint le plus haut degré, puisqu'elle égale presque le sixième de la pesanteur, possède, en y comprenant les anneaux, onze subordonnés. Le seul cas où la concordance

de l'observation avec l'induction fait défaut est celui de Vénus. Ici, la force centrifuge est relativement un peu plus énergique que sur la terre; et, d'après l'hypothèse, Vénus devrait avoir un satellite. Mais il y a deux moyens d'expliquer cette anomalie apparente. Plus d'un astronome a affirmé que Vénus a un satellite. Cassini, Short, Montaigne de Limoges, Roedkier et Montbarron déclaraient l'avoir vu; et Lambert en a calculé les éléments. Admettons pourtant qu'ils se sont mépris; reste toujours ce fait, qu'on varie sur l'estimation du diamètre de Vénus, et qu'avec un léger changement dans les données, la fraction serait plus petite, au lieu d'être plus grande, que celle de la Terre. Enfin tenons le désaccord pour prouvé: la concordance en question, même avec cette restriction, serait encore à nos yeux une des plus puissantes confirmations de l'hypothèse de la nébuleuse <sup>1</sup>.

En entrant davantage dans le détail, on trouve certains caractères des satellites qu'il faut signaler parce qu'ils donnent à penser. D'abord le rapport entre la période de révolution et la période de rotation. On ne voit pas en quoi il peut être utile que la Lune tourne sur son axe dans le même temps qu'elle met à faire le tour de la Terre; quant à nous, nous nous accommoderions aussi bien d'une rotation plus rapide de ce satellite; et quant aux habitants de la Lune s'il y en a,

1. Depuis la publication de cet essai, les données des calculs précédents ont été changées par cette découverte que la distance du soleil est de 3 millions de milles (4,800,000 kil.) moindre qu'on ne croyait. De là une diminution dans l'estimation de sa masse et de celle des autres planètes (excepté la terre et la lune). Comme on n'a pas encore publié un calcul rectifié de ces mesures, la table a été réimprimée dans sa forme première. Mais il s'agit d'une diminution pouvant aller à un dixième et qui n'altère pas essentiellement les rapports indiqués ci-dessus.



ils s'en trouveraient beaucoup mieux. On pourrait encore supposer que cette égalité est un fait du hasard; mais, comme le dit Laplace, il y a à parier l'infini contre un qu'il n'en est rien. Au contraire, si cet arrangement ne s'explique ni par le dessein prémédité ni par un hasard, l'hypothèse de la nébuleuse nous en donne la clef. Dans son *Exposition du système du monde*, Laplace montre, par un raisonnement trop long pour être rapporté ici en détail, que dans les circonstances données cette combinaison de mouvements était bien celle qui avait chance de s'établir.

Les satellites de Jupiter, outre que chacun d'eux offre ces mêmes mouvements synchroniques, montrent aussi entre eux une relation plus remarquable encore. « La vitesse angulaire du premier satellite, augmentée du double de celle du troisième, est égale au triple de celle du second; » et « il en résulte que la situation de deux quelconques des trois étant connue, on peut trouver celle du troisième. » Or de là comme des phénomènes précédents, il ne résulte aucun avantage imaginable. La liaison de ces mouvements ne peut pas davantage être un pur accident : il y a en effet une infinité de chances là contre et une pour. Mais une fois de plus, selon Laplace, l'hypothèse de la nébuleuse nous fournit une solution. Tous ces faits n'ont-ils pas quelque signification ?

Mais le plus significatif de tous les phénomènes est celui que présentent les anneaux de Saturne. Laplace l'a dit : ils sont comme autant de témoins encore présents du procédé de formation conçu par cet astronome. Là, nous voyons la matière

gardant encore d'une façon permanente une forme pareille à celles que traversa jadis chaque planète et chaque satellite, et ses mouvements sont précisément tels que le veut l'hypothèse. « La durée de la rotation d'une planète doit donc d'après cette hypothèse, dit Laplace, être plus petite que la durée de la révolution du corps le plus voisin qui circule autour d'elle <sup>1</sup>. » Et là-dessus il remarque que la durée de la rotation de Saturne est à celle de la révolution de ses anneaux comme 427 à 438. C'est bien à une différence de cet ordre qu'on devait s'attendre.

Mais outre l'existence de ces anneaux, outre leurs mouvements si fidèlement conformes à la théorie, il y a un détail plein de sens que Laplace n'a pas remarqué : c'est à savoir le lieu où ils se sont produits. Si le système solaire avait été formé de la façon qu'imagine le vulgaire, il n'y aurait pas de raison pour que les anneaux de Saturne ne se fussent pas tenus à une distance plus grande de la planète. Ou encore, au lieu de donner ces anneaux à Saturne, qui avec ses huit satellites aurait pu s'en passer, il eût mieux valu en doter Mars, pour lui tenir lieu de la lune qui lui manque. Ils auraient aussi été fort bien placés autour d'Uranus, qui, pour s'éclairer, en aurait bien plus besoin. Dans l'hypothèse populaire, redisons-le, il n'y a pas de raison pour qu'ils soient où ils sont plutôt qu'ailleurs. Mais dans l'hypothèse de l'évolution, cet arrangement, au lieu de nous créer une difficulté, nous apporte un secours. Ces anneaux se trouvent au seul lieu où ils pouvaient se produire, près du corps d'une

1. *Mécanique céleste*, p. 346.



planète où le rapport de la force centrifuge à la gravitation est élevé. Des anneaux permanents ne sauraient exister à une distance considérable du corps d'une planète : c'est ce que l'hypothèse de la nébuleuse met en évidence. Des anneaux détachés de bonne heure au cours de la concentration de la planète, et qui par suite seraient d'une matière gazeuse et très-peu cohérente, n'auraient aucune force pour résister aux causes de rupture nées d'un équilibre imparfait; il leur faudrait se résoudre en satellites. Un anneau liquide est le seul capable de permanence. Or un anneau liquide ne peut se produire que lorsque la condensation touche à sa fin, quand la matière, quittant l'état gazeux, se liquéfie, et que la masse est sur le point de prendre figure de planète. Et même alors, pour se produire, il réclame certaines conditions spéciales. Comme la gravitation obtient une prépondérance rapidement croissante durant les derniers âges de la concentration, la force centrifuge ne peut pas d'ordinaire détacher des anneaux lorsque déjà la masse est devenue dense. Il a fallu que dans un cas, celui de Saturne, la force centrifuge demeurât puissante jusqu'au bout, pour que des anneaux liquides fussent formés. C'est ainsi que la théorie de la nébuleuse nous fait concevoir pourquoi de tels corps subordonnés entourent Saturne et manquent partout ailleurs.

N'oublions pas non plus que Saturne possède un anneau découvert depuis peu d'années, *nébuleux* et à travers lequel on voit le corps de la planète comme à travers un voile épais. Placée dans la seule situation, semble-t-il, où elle pût se

conserver, suspendue pour ainsi dire entre les anneaux plus denses et la planète, subsiste encore une de ces masses annulaires de matière diffuse d'où sont nés à notre sens les satellites et les planètes.

Ainsi, à côté de ces phénomènes frappants du système solaire, qui donnèrent la première idée de son mode de formation, il en est d'autres, moins importants, qui en foule nous invitent à suivre la même idée. N'y eût-il pas une autre preuve, ces combinaisons mécaniques, dans leur ensemble, pèsent encore d'un grand poids en faveur de l'hypothèse de la nébuleuse.

Voilà pour la mécanique du système solaire : maintenant arrivons aux caractères physiques, et commençons par les densités spécifiques des planètes et par les conclusions qu'on en peut déduire.

D'une façon générale, les planètes les plus denses sont les plus voisines du soleil; aux yeux de plusieurs, c'est là encore un indice de plus en faveur de la doctrine qui les fait naître de la nébuleuse. Les parties extérieures d'un sphéroïde nébuleux en rotation, aux premiers âges de la condensation, sont, on peut l'affirmer à bon droit, relativement rares; or, si la masse entière en se contractant acquiert une densité de plus en plus grande, cette vérité s'applique aux parties extérieures comme aux autres; on en conclura que les anneaux successivement détachés seront de plus en plus denses et formeront des planètes douées de poids spécifiques de plus en plus considérables. Mais, sans parler



d'autres objections, cette explication est tout à fait impuissante à rendre compte de tous les faits. Prenant la Terre comme point de comparaison, nous établirons ainsi les densités relatives des corps du système :

NEPTUNE	URANUS	SATURNE	JUPITER	MARS	LA TERRE	VÉNUS	LE SOLEIL
0,14	0,24	0,14	0,24	0,95	1,00	1,12	0,25

Cette série nous offre deux objections en apparence insurmontables. La première est que la progression n'est que fragmentaire. Neptune est aussi dense que Saturne, ce qui dans l'hypothèse ne devrait pas être. Uranus est aussi dense que Jupiter, ce qui ne devrait pas être. Uranus est plus dense que Saturne, et la Terre plus que Vénus, deux faits qui, bien loin d'appuyer l'explication proposée, la combattent formellement. L'autre objection, encore plus grave, c'est la faible densité du Soleil : Si, à l'époque où le futur Soleil remplissait l'orbite de Mercure, il était assez condensé pour qu'un anneau détaché de lui formât une planète dont le poids spécifique fût celui du fer, alors le Soleil lui-même, aujourd'hui qu'il est concentré, devrait avoir un poids spécifique supérieur à celui du fer ; au contraire, sa densité ne dépasse guère celle de l'eau. Il faut donc chercher quelque autre interprétation du fait.

Les différences de densité des corps de notre système solaire peuvent être dues à diverses causes isolées ou coopérantes. 1° Celle dont nous avons déjà parlé : la diversité de nature des substances dont elles sont respectivement compo-

sées ; 2° la différence dans la quantité de ces substances : car, toutes choses égales d'ailleurs, la gravitation mutuelle des parties tend à produire dans les grandes masses une densité plus élevée que dans les petites ; 3° leurs différences de structure interne, inévitable dans des corps arrivés à des degrés différents de concentration : elles ont pour causes déterminantes d'abord le volume de la masse (un corps peu volumineux se refroidit plus vite qu'un autre), puis le rapport de la force centrifuge à la gravité (la force centrifuge fait obstacle à la concentration). Maintenant un coup d'œil jeté sur la table précédente vous montrera la distance énorme qui sépare les densités des grosses planètes, si faibles, des densités considérables des petites planètes ; d'où ce soupçon, que la dernière des causes énumérées pourrait bien être capitale. Pour passer de l'état gazeux à l'état de fusion la masse doit traverser tous les intermédiaires : durant ces périodes, les matières gazeuses sont mélangées de façon ou d'autre avec les liquides, et la proportion des unes aux autres change continuellement. Au début, c'est une enveloppe de nuages formés par précipitation et d'où tombent dans la direction du centre des gouttes d'une pluie de métal ; puis cette pluie, de plus en plus serrée, finit par remplir l'intérieur ; alors un noyau en fusion commence à se former ; plus tard enfin le terme marqué sera atteint et toute la matière condensable sera réunie sous la forme d'un sphéroïde en fusion. Or ces changements s'accompliront, la chose est claire, en un temps bien plus court dans une planète comme la Terre que dans un corps immense comme Jupiter et Saturne, sans compter que, dans un tel corps, la force centri-



fuge est considérable. Donc on peut tirer de l'hypothèse de la nébuleuse cette conclusion que, toutes choses égales d'ailleurs, les petits corps célestes auront atteint un état avancé de concentration et posséderont des densités élevées quand les plus grands seront encore au début de leur concentration et n'auront que de faibles densités.

A propos des densités des corps célestes, nous avons dû parler de la chaleur qu'ils développent. Mais ce que nous n'avons pas encore dit, c'est que leurs conditions actuelles de température fournissent un nouveau point d'appui à notre argumentation et même un des plus solides qui soient.

Une matière diffuse qui se condense sous forme concrète ne peut manquer d'engendrer de la chaleur; et, dans tout le cours de notre raisonnement, nous avons admis ce dégagement de chaleur comme un accompagnement de la condensation d'une nébuleuse. Si donc l'hypothèse de la nébuleuse est vraie, nous devons trouver, dans tous les corps célestes, ou de hautes températures, ou les traces de hautes températures maintenant disparues.

Dans les limites de ce qu'on peut observer, les faits sont bien tels que la théorie l'exige. Diverses preuves concourent à démontrer qu'au delà d'une certaine profondeur la terre est en fusion. Elle a dû être jadis tout entière en fusion, paraît-il, car l'accroissement de température que l'on observe à mesure qu'on descend au-dessous de la surface est précisément celui que devrait présenter une masse en voie de refroidissement depuis un temps immense. La lune aussi, avec ses rides et ses

volcans si remarquables, nous montre qu'elle a subi un refroidissement et une contraction pareils à ceux dont la terre a été le théâtre. Les montagnes qu'on voit sur Vénus sont encore autant de rides, témoins de la solidification d'une croûte, ou sont les traces d'une réaction du feu intérieur contre cette croûte; peut-être sont-elles les deux à la fois.

Or, avec la théorie ordinaire de la création, ces phénomènes sont inexplicables. En vue de quoi la terre aurait-elle dû être jadis en état de fusion, impropre à supporter des êtres vivants? C'est ce qu'on ne peut dire. Pour satisfaire à une telle explication, la terre aurait dû, dès l'origine, à sa création, être appropriée aux fins pour lesquelles on la croit créée. On en peut dire autant des autres planètes. Ainsi les traces d'une incandescence primitive et les hautes températures intérieures qui se conservent aujourd'hui dans ces corps célestes sont autant de difficultés insolubles pour cette théorie, bien loin d'en être de puissantes confirmations, comme il arrive pour l'hypothèse de la nébuleuse.

Mais ce n'est pas le seul argument à tirer des phénomènes de température. Il nous reste à indiquer un fait plus saillant et plus important encore. De ce que le système solaire s'est formé par la concentration d'une matière diffuse, qui a dégagé de la chaleur tout en prenant par l'effet de la gravitation sa forme et sa densité actuelles, il s'ensuit certains corollaires tout naturels, concernant la température particulière de chacun des corps du groupe. Toutes choses égales d'ailleurs, le corps le dernier formé sera le plus lent à se refroidir: il conservera, pour un temps presque illimité, une température plus haute que ses aînés.