

ne dépassant pas celle où une étoile isolée est encore faiblement visible à l'œil nu, il peut exister un groupe de quelques cent mille étoiles invisible à l'œil nu. Deux hypothèses également insoutenables. Il ne nous reste donc plus qu'une conclusion possible : les nébuleuses, dirons-nous, ne sont pas plus éloignées que certaines parties de notre propre système stellaire, et elles peuvent être regardées comme des membres de ce système ; et, quand elles sont solubles en masses distinctes, on ne peut, sans un abus de langage, assimiler ces masses à des étoiles.

On voit donc combien est insoutenable la théorie, si témérairement adoptée par plusieurs astronomes, qui voit dans les nébuleuses des voies lactées extrêmement lointaines. Examinons maintenant si les phénomènes qu'elles offrent ne s'accordent pas avec l'hypothèse de la nébuleuse.

Imaginons une masse de matière nébuleuse, très-rare et dispersée sur un espace très-vaste, avec un diamètre, par exemple, égal à la distance du soleil à Sirius¹ ; par quels changements successifs va-t-elle passer ? Les atomes, par leur attraction mutuelle, se rapprocheront ; mais ce mouvement sera contrarié par la répulsion atomique, dont il triomphera en développant de la chaleur. Cette chaleur se dégagera en partie par rayonnement ; et, au fur et à mesure, s'effectuera un nouveau rapprochement des molécules ; de là encore une production de chaleur, et ainsi de suite : non que ces phéno-

1. La ténuité que nous attribuons ainsi à cette matière est prodigieuse ; mais cela ne fait pas une difficulté : Newton a prouvé par un calcul que si une sphère d'air d'un pouce était placée à 4000 milles (6400 kil.) de la terre, elle se dilaterait en une sphère débordant l'orbite de Saturne.

mènes se produisent séparément, comme nous les exposons ; ils sont simultanés, ininterrompus et de plus en plus énergiques. De plus, ce mouvement lent des atomes vers leur centre commun de gravité pourra donner lieu à des phénomènes d'un autre ordre.

Souvenons-nous des lois bien connues de la combinaison des atomes : quand une masse nébuleuse aura atteint un certain degré de condensation ; quand les atomes les plus intérieurs se seront rapprochés jusqu'à un certain point, qu'ils auront engendré une certaine quantité de chaleur, et qu'ils exerceront les uns sur les autres une certaine pression (car la chaleur et la pression croissent avec la condensation) ; alors certains d'entre eux entreront brusquement en combinaison chimique. Les atomes binaires ainsi produits rentrent-ils dans quelque une des espèces à nous connues ? ou, comme il est plus probable, sont-ils plus simples que les espèces connues ? Il n'importe ici. Il suffit qu'une combinaison moléculaire d'une certaine espèce doive finir par avoir lieu. A ce moment même, elle sera accompagnée d'un puissant et soudain dégagement de chaleur ; et, jusqu'à ce que cet excès de chaleur se soit dissipé, les nouveaux atomes binaires resteront uniformément diffusés et pour ainsi dire dissous dans le milieu nébulaire préexistant.

Maintenant, que va-t-il arriver. Le rayonnement produira un abaissement convenable de température ; les atomes binaires se précipiteront ; et en cet état ils ne resteront plus à l'état de dispersion uniforme, ils se condenseront en flocons : ainsi l'eau, à l'état de précipité dans l'air, forme les nuages.

En conséquence, une masse nébuleuse devra, dans le cours

du temps, se résoudre en flocons d'une matière plus dense, flottant dans le milieu plus rare où s'est opéré le précipité. Maintenant considérons les résultats mécaniques. Des masses dispersées à travers l'espace vide et se mouvant vers leur centre commun de gravité, selon des courbes que déterminent seules leurs attractions mutuelles, n'imprimeront pas au système qu'elles forment un mouvement autour d'un axe quelconque. Mais s'il s'agit de masses irrégulièrement disposées, ayant des formes irrégulières, et suspendues dans un milieu qui est plus dense au centre qu'à la périphérie, qu'advient-il? Leurs mouvements de concentration seront déviés parfois, çà et là, par des attractions mutuelles, et ces attractions, si l'on considère l'ensemble, s'annuleront entre elles; mais ils seront aussi exposés à d'autres déviations, d'origine différente, qui ne s'annuleront pas nécessairement. Dans les deux cas, leur mouvement initial sera infléchi, et par les attractions locales, et par les pressions que le milieu résistant oppose à leur passage et qui sont inégalement réparties sur leurs faces elles-mêmes irrégulières; ce mouvement sera donc dirigé d'un ou d'autre côté du centre de gravité du système. Eh bien! voilà un flocon animé de ce mouvement oblique, qui dans sa marche traverse un milieu toujours plus dense du côté qui fait face au centre de gravité que du côté opposé: que doit-il résulter? La différence de pression doit amener une déviation continue: sa direction, déjà infléchie par les attractions locales, le sera encore par les inégalités de réaction du milieu: et il n'y a pas lieu de croire que ces déviations soient compensées jamais par d'autres, de sens contraire. Toutes ces composantes obliques,

en mettant à part celles qui ont pour cause la gravitation, tendront à porter les flocons en voie de concentration à droite ou à gauche du centre de gravité du système; et leur vitesse acquise, pendant leur trajet vers ce centre, se décomposera, une partie se transformant en mouvements de rotation autour du centre. Une force tangentielle appliquée à une masse non sans cohésion y produit une rotation: donc un flocon pénétrant obliquement dans un milieu dont la densité va croissant de la périphérie au centre y doit provoquer un mouvement de rotation. Toutefois il est clair que les divers flocons seront déviés, non pas d'un même côté du centre, mais de divers côtés. Mais alors, comment de là pourra-t-il résulter un mouvement général du tout selon une direction unique? La chose est bien simple. Chaque flocon, durant sa course en spirale, doit communiquer du mouvement au milieu plus rare où il se meut. Or, il y a une infinité de chances contre une, pour que tous les mouvements ainsi imprimés à ce milieu par les divers flocons ne s'annihilent pas. Et, dans ce cas, la résultante nécessaire sera une rotation de la masse totale ambiante dans une direction unique. Mais une fois que le milieu, cédant au plus fort moment, se sera mis en marche selon une certaine direction, il arrêtera à son tour, petit à petit, les flocons se dirigeant en sens contraire et leur communiquera son mouvement; en fin de compte, il se formera un milieu en rotation avec des flocons en suspension et animés du même mouvement.

Nous allons comparer ces résultats avec les faits; mais d'abord, poussons encore un peu notre déduction, et voyons

les actions secondaires produites dans notre système et les modifications innombrables qui en résulteront. Chaque flocon n'est pas attiré seulement vers le centre de gravité commun, mais aussi vers tous les flocons voisins. La totalité de ces flocons va donc se diviser en groupes subordonnés; chacun de ces groupes, se condensant autour de son centre propre de gravité, acquerra ainsi un mouvement gyroïde, semblable à celui que doit acquérir plus tard la nébuleuse tout entière. Maintenant, selon les circonstances, et surtout selon le volume plus ou moins grand de la masse nébulaire primitive, ces condensations partielles peuvent amener des résultats différents. Si la nébuleuse est petite, les amas particuliers de flocons pourront être amenés au centre de gravité commun avant que les masses dont ils se composent aient eu le temps de s'unir. Supposez-la plus grande, les groupes partiels seront à la fois plus considérables et plus éloignés du centre commun : alors ils auront pu se condenser et former des masses de matière en fusion, avant que la distribution de ces groupes dans le système ait été notablement altérée. Bref, selon les cas et les circonstances déterminantes, les masses distinctes ainsi produites pourront varier à l'infini, quant au nombre, à la grandeur, à la densité, aux mouvements, à la distribution.

Maintenant, revenons aux apparences caractéristiques que présentent les nébuleuses, vues à travers les télescopes modernes. Commençons par la description des nébuleuses qui, dans notre hypothèse, seraient encore les moins avancées dans leur évolution :

« Parmi les *nébuleuses irrégulières*, dit sir John Herschel, on peut comprendre toutes celles qui d'abord ne sont ni entièrement, ni même partiellement solubles pour le réflecteur de 20 pieds, et qui en outre s'éloignent trop de la forme circulaire ou elliptique, ou qui avec cette forme, présentent une disposition trop peu symétrique, pour pouvoir être admises dans la première classe, celle des nébuleuses régulières. Cette seconde classe comprend plusieurs des objets célestes les plus dignes d'attention et d'intérêt, et qui occupent le plus d'espace visible. »

M. Arago, faisant allusion au même genre d'objets, dit :
« Les formes des nébuleuses les plus vastes ne paraissent pas définissables : elles n'offrent pas un contour régulier. »

Ainsi, grandeur, résistance à l'analyse, irrégularité, contours indéterminés, voilà autant de caractères qui se trouvent réunis : ce fait est plein de sens. Nous pouvions prévoir *a priori* que les nébuleuses les plus grandes seraient ou insolubles ou fort difficiles à résoudre; car l'insolubilité signifie que la matière précipitée n'est pas fort avancée dans son travail de condensation, et c'est ce qui doit arriver dans une nébuleuse très-étendue. De même pour la forme irrégulière de ces vastes nébuleuses insolubles : on pouvait s'y attendre : leurs contours (Arago les compare aux apparences fantastiques que prennent les nuages poussés et tourmentés par des vents violents et souvent contraires) sont aussi des indices d'une masse qui ne s'est pas encore concentrée par l'effet de l'attraction mutuelle de ses diverses parties. Et enfin, si ces vastes nébuleuses irrégulières et insolubles ont des contours indéfinis, qui se perdent insensiblement dans les ténèbres environnantes, il faut l'interpréter de même.

A prendre les choses en gros (et, de fait, les distances de ces

objets sont trop différentes entre elles, et l'on ne peut parler que pour la moyenne), les nébuleuses en spirale sont plus petites que les nébuleuses irrégulières et solubles, sans toutefois être aussi petites ni aussi solubles que les nébuleuses régulières. C'est ce que l'hypothèse exigeait. Le mouvement en spirale a pour cause un état de concentration où les groupes de flocons sont plus vastes, partant plus visibles, que dans un état antérieur. Bien plus, les formes de ces nébuleuses en spirale s'accordent bien avec notre explication. Les traînées courbes de matière lumineuse qu'elles présentent ne sont pas celles que produiraient des masses plus ou moins distinctes partant d'un état de repos et se mouvant à travers un milieu résistant vers un centre commun de gravité; mais elles sont telles que les produiraient des masses dont le mouvement serait modifié par la rotation du milieu ambiant.

Au centre de toute nébuleuse en spirale, on voit une masse plus lumineuse à la fois et plus soluble que le reste. Admettons que, dans la suite des temps, les traînées en spirale de matière lumineuse qui convergent vers ce centre tendent à s'y absorber, comme il est inévitable; admettons aussi que les flocons ou autres masses distinctes dont sont formées ces traînées se condenseront en masses plus considérables à mesure qu'ils s'approcheront du groupe central, ce qui est aussi un résultat nécessaire; alors le produit dernier sera un groupe globulaire composé de ces masses énormes et qui sera plus facile à analyser. L'union et la concentration des parties se poursuivant, les masses composantes deviendront par degrés moins nombreuses, plus grosses, plus brillantes, et formeront

un amas plus serré autour du centre de gravité commun. Or voyez si cette conclusion ne s'accorde pas entièrement avec les faits observés. « La forme circulaire est la caractéristique ordinaire des nébuleuses solubles, » dit Arago. « Les nébuleuses solubles, dit sir John Herschel, sont presque sans exception rondes ou ovales. » En outre, c'est d'ordinaire au centre du groupe que les masses composantes sont le plus étroitement serrées; or il est prouvé qu'avec la loi de gravitation, aujourd'hui étendue aux étoiles mêmes, cette disposition n'est pas un état d'équilibre, mais suppose une concentration graduelle. Et enfin, si nous avons induit que la condensation devait, selon les cas, avoir atteint un degré plus ou moins avancé, nous voyons en fait qu'il existe des nébuleuses à tous les degrés de solubilité, depuis celles qui sont formées d'une quantité innombrable de petites masses distinctes, jusqu'à celles où se montrent seulement quelques grands corps, dignes déjà du nom d'étoiles.

Ainsi, nous arrivons à ces deux résultats : d'abord la théorie, qu'on a acceptée sans examen dans ces dernières années, et qui assimile les nébuleuses à des amas blanchâtres d'étoiles, très-éloignées de nous, et semblables à ceux dont est faite notre voie lactée, cette théorie ne peut se concilier avec les faits et nous conduit à des absurdités. Ensuite, l'hypothèse de la condensation des nébuleuses s'accorde avec les résultats les plus récents de l'astronomie stellaire; bien plus, elle nous met à même d'expliquer diverses apparences qui sans elle demeureraient incompréhensibles.

Maintenant descendons jusqu'au système solaire, et consi-

dérons d'abord une classe de phénomènes qu'on peut en un sens appeler transitoires, ceux que présentent les comètes. Dans les comètes, nous voyons encore aujourd'hui une matière pareille à celle dont est sorti, selon l'hypothèse de la nébuleuse, le système solaire. Pour expliquer ces corps célestes, il nous faut remonter au temps où la matière de laquelle sont nés le soleil et les planètes n'était point encore concentrée.

Quand une matière diffuse se met à donner un précipité dans un milieu plus rare qu'elle, il ne peut manquer de se produire çà et là de petits flocons, qui demeurent suspendus par l'effet soit des courants locaux, soit des attractions de sens contraires exercées sur eux par les masses environnantes : ainsi, dans un ciel serein, se forment de légères nuées. Dans une nébuleuse en voie de concentration, ces flocons finiront, le plus souvent, par se fondre avec les flocons plus considérables de leur voisinage. Toutefois, il est assez clair que plusieurs d'entre les plus éloignés de ces petits flocons, nés sur les plus extrêmes frontières de la nébuleuse, ne se fondront pas avec les masses plus intérieures et plus considérables, et ne feront que les suivre lentement sans les rejoindre. La raison en est dans la résistance proportionnellement plus grande que le milieu leur oppose. Si une plume tombe dans l'air en même temps qu'une masse de plumes échappée d'un coussin qu'on vide, la première sera bientôt dépassée : de même, dans la marche commune vers le centre de gravité du système, les flocons de vapeur les plus éloignés seront laissés en arrière par les grandes masses de vapeur plus rapprochées du milieu. D'ailleurs, nous n'en sommes pas réduits ici aux seules preuves

de raisonnement. L'observation nous montre qu'en fait les parties extérieures, moins condensées, des nébuleuses, sont laissées en arrière par les portions intérieures et plus condensées. Toute nébuleuse, même régulière, dans un fort télescope, paraît environnée de traînées lumineuses, dont les directions montrent qu'elles tendent à s'absorber dans l'ensemble. Avec un télescope plus puissant encore, elle laisse voir des traînées plus petites, plus pâles, et dispersées sur un rayon plus vaste. Et, l'on n'en saurait douter, les fragments plus faibles, qu'aucun télescope ne rend saisissables à notre vue, sont encore plus nombreux et plus dispersés. Ainsi l'observation confirme, dans une certaine mesure, l'induction.

Admettons que la grande majorité de ces portions éparses de matière nébuleuse sera absorbée par la masse centrale bien avant que celle-ci ait pris une forme déterminée; il est probable toutefois que plusieurs d'entre les plus petites et les plus lointaines auront un autre sort, qu'avant leur arrivée dans le voisinage de la masse cette dernière se sera condensée sous un volume relativement moyen. Quels seront alors les caractères de ces portions tard venues?

D'abord, elles auront des orbites d'une extrême excentricité. Abandonnées à un moment où elles gravitaient vers le centre commun selon des trajectoires à peine courbes, n'ayant dès lors que de très-faibles vitesses angulaires, elles s'approcheront de la masse principale en suivant des ellipses extrêmement allongées; elles en feront rapidement le tour et s'enfuiront dans l'espace. C'est-à-dire qu'elles se conduiront exactement comme nous voyons faire les comètes, dont les

orbites sont d'ordinaire trop excentriques pour se distinguer d'une parabole.

En second lieu, elles arriveront de tous les points du ciel. Dans notre hypothèse, elles ont été abandonnées en un temps où la masse nébuleuse avait une forme irrégulière et n'avait pas acquis un mouvement de rotation déterminé; d'ailleurs il n'y a pas de raison de croire qu'elles se soient détachées sur un point de la nébuleuse plutôt que sur un autre; en conséquence, elles devront arriver vers la masse centrale de tous les points de l'espace. C'est justement encore ce qui arrive. Différent en cela des planètes, dont les orbites sont toutes voisines d'un même plan, les orbites des comètes n'ont pas d'analogies de situation: elles coupent le plan de l'écliptique sous tous les angles.

En troisième lieu, et pour les mêmes raisons, les flocons les plus lointains de matière nébuleuse, au commencement de leur course vers le centre commun, seront déviés de la ligne droite non pas tous d'un seul côté, mais chacun du côté que sa forme exigera. Ayant été laissés en arrière avant le début de la rotation de la nébuleuse, ils garderont chacun son mouvement individuel. De là, suivant la masse dans son retrait, ils pourront venir en faire le tour d'un côté aussi bien que de l'autre; ils marcheront indifféremment de la gauche à la droite, ou de la droite à la gauche. Ici encore, l'induction correspond parfaitement aux faits. Au contraire des planètes, qui toutes font le tour du soleil en allant de l'ouest à l'est, les comètes exécutent leur révolution aussi souvent de l'ouest à l'est que de l'est à l'ouest. Sur 210 comètes connues jusqu'en 1855, 104 sont

directes, et 106 rétrogrades. Ce partage égal est justement ce que le calcul des probabilités eût fait prévoir.

Enfin, quatrième, la constitution physique des comètes est tout à fait d'accord avec l'hypothèse. La capacité de la matière nébuleuse à se condenser et à prendre une forme définie est en raison de sa masse. Pour que ses atomes élémentaires se rapprochent à la distance où la combinaison chimique devient possible, c'est-à-dire où peut se produire une matière plus dense, il faut que leur répulsion soit surmontée. Or la seule force qui s'oppose à cette répulsion, c'est la gravitation des uns vers les autres. Pour que celle-ci engendre une pression et une chaleur assez intenses, il faut que ces atomes s'accablent en masses prodigieuses, et, même alors, le rapprochement ne peut se produire que lentement, au fur et à mesure du dégagement de la chaleur produite. Avec une faible quantité d'atomes et par suite une faible quantité de force attractive, rien ne forcera les atomes à s'unir. D'où cette conclusion, que ces fragments isolés de matière nébulaire resteront dans leur état primitif. C'est ce qui a lieu. Les comètes sont formées d'une matière extrêmement rare, dont les caractères, indiqués dans la description déjà citée de sir John Herschel, ressemblent à ceux qui devaient, selon nos conclusions, appartenir à une masse nébuleuse à demi condensée.

Un autre fait encore, et plein de sens, est celui qu'on remarque dans la distribution des comètes. Elles viennent de tous les coins du ciel; toutefois elles ne sont pas également abondantes partout; elles sont bien plus nombreuses au voisinage des pôles de l'écliptique que de ce plan. En général, les comètes

tes dont l'orbite est dans un plan très-incliné sur l'écliptique ont le grand axe de leur orbite également très-incliné sur l'écliptique; elles viennent de latitudes élevées. Non que les deux faits soient liés nécessairement : le plan de l'orbite *pourrait* se trouver très-incliné sur l'écliptique, le grand axe n'y étant que fort peu incliné. Mais, comme ce cas ne se présente pas d'ordinaire, on est en droit de dire qu'en *moyenne* toute orbite de comète qui est fortement inclinée a un grand axe fortement incliné. Donc, si les orbites de comètes coupant l'écliptique sous un angle considérable sont les plus nombreuses, c'est que les grands axes coupant l'écliptique sous un angle considérable sont en majorité. Or il en est ainsi pour les orbites des comètes, comme on peut le voir par la table suivante, qu'a dressée M. Arago; j'y ai ajouté une colonne, donnant les résultats recueillis dans les deux années qui en ont suivi la rédaction :

INCLINAISONS	NOMBRE DE COMÈTES en 1831	NOMBRE DE COMÈTES en 1853.	NOMBRE DE COMÈTES en 1855.
De 0° à 10°	9	19	19
De 10° à 20°	13	18	19
De 20° à 30°	10	13	14
De 30° à 40°	17	22	22
De 40° à 50°	14	35	36
De 50° à 60°	23	27	29
De 60° à 70°	17	23	25
De 70° à 80°	19	26	27
De 80° à 90°	15	18	19
Totaux. . .	137	201	210

A première vue, cette table ne semble pas justifier notre affirmation. Si l'on admet, entre l'inclinaison de l'orbite de la comète et la direction de l'espace d'où elle vient, la relation

générale que nous avons dite, la table paraît donner le résultat suivant : accroissement du nombre des comètes quand on s'élève de l'écliptique au 45° degré; puis, de là au 90°, diminution. Mais cette diminution apparente vient de ce que l'aire des zones va en décroissant rapidement à l'approche des pôles. Tenant compte de ce fait, nous trouvons que l'accroissement dans la fréquence des comètes continue jusqu'aux plus grandes inclinaisons. Dans la table ci-dessous, où l'ordre des latitudes a été renversé pour la commodité, nous avons pris comme unité d'étendue celle de la zone qui avoisine le pôle, et, comme type de la richesse en comètes, celle de cette même zone; puis nous avons calculé les aires des autres zones, et les quantités de comètes qu'elles devraient contenir si les comètes étaient distribuées également; enfin nous avons montré combien les déficits vont croissant quand on descend des pôles à l'écliptique :

ZONES	AIRE DE LA ZONE	NOMBRE de comètes qu'aurait la zone, si elles étaient distri- buées également	NOMBRE réel de comètes	DÉFICIT	RICHESSÉ relative
Du 90° au 80°	1	19	19	0	11,5
Du 80° au 70°	2,93	56,6	27	29,6	5,5
Du 70° au 60°	4,85	92	25	67	3,12
Du 60° au 50°	6,6	125	29	96	2,66
Du 50° au 40°	8,13	154	36	118	2,68
Du 40° au 30°	9,42	179	22	157	1,4
Du 30° au 20°	10,42	193	11	181	0,8
Du 20° au 10°	11,1	210	19	191	1,04
Du 10° au 0	11,5	218	19	199	1

A la rigueur, le calcul devrait être rapporté non à l'écliptique, mais à l'équateur du soleil; et la progression pourrait alors nous apparaître ou plus ou moins régulière. Elle changerait sans