

Systèmes du monde et étoiles

Il est dès lors nécessaire que tout ce qui est transporté vers le bas ou vers le haut possède une légèreté ou une pesanteur ou les deux... En effet, ces choses peuvent avoir une pesanteur ou une légèreté relatives, par exemple l'air est léger par rapport à l'eau, mais l'eau est légère par rapport à la terre. Mais il est impossible que le corps transporté en cercle ait une pesanteur ou une légèreté ; car ni par nature ni contre-nature il ne lui est possible d'être mû en direction du centre ou en venant du centre. ...

Aristote, Physique, 5^{ème} siècle AEC

Il me semble que la pesanteur n'est qu'une tendance naturelle que le créateur a donnée à des parties des corps afin d'assembler la Terre sous la forme d'une sphère et pour ainsi contribuer à leur unité et entité. Nous sommes autorisés à croire que cette propriété appartient aussi au soleil, à la lune et aux planètes de façon à ce qu'elles gardent leur forme sphérique ...

Nicolas Copernic, 1543

- 1) Caractériser la différence des idées des deux auteurs au sujet de la chute des corps terrestres et du mouvement des astres.
- 2) Décrivez en quelques mots dans quelle mesure Copernic va au-delà de la pensée d'Aristote et de la philosophie dominante jusqu'à la Renaissance, et où sa pensée reflète encore la vue traditionnelle de la nature, selon les Grecs et notamment selon Aristote.
- 3) Quels aspects nouveaux Newton apporta-t-il au débat sur les mouvements des astres ?

Il y a des philosophes qui font de la Terre l'un des astres, et d'autres qui, la posant au centre, lui reconnaissent une oscillation et un mouvement autour de l'astre central. Mais que ces théories soient inadmissibles, cela est évident dès que l'on prend comme point de départ le fait que le mouvement de la Terre [...] est nécessairement forcé. Ce ne peut pas être le mouvement de la Terre elle-même : car, dans ce cas, chacune de ses parties posséderait aussi ce mouvement, alors qu'en réalité toutes les parties se meuvent en ligne droite vers leur centre. C'est ce qui explique que son mouvement ne peut être éternel, puisqu'il est forcé et contre nature. Or l'ordre du Monde est éternel

Aristote, Traité du Ciel, 5^{ème} siècle AEC

- 1) À quels philosophes Aristote fait-il référence dans sa première phrase ?
 - 2) Quel est ici l'argument d'Aristote contre la rotation de la Terre sur elle-même ?
 - 3) Pourquoi parle-t-il de mouvement forcé et contre nature ?
 - 4) Expliquez en quelques lignes quelle est la structure de l'univers selon Aristote.
 - 5) Citez d'après le cours, ses arguments en faveur de la rotondité de la Terre et de sa position centrale dans l'univers.
-

L'orbite de la planète Vénus

Vénus a joué un rôle essentiel dans la mise en évidence de la supériorité du système héliocentrique sur le système géocentrique. Dans une lettre datée du 30 décembre 1610 au Père Christopher Clavius, premier astronome du Pape, Galilée décrit ses observations de la planète :

Sachez donc qu'ayant commencé à l'observer au début de son apparition vespérale, je la voyais de forme ronde, mais très petite ; tandis que continuaient les observations, elle se mit à croître notablement en grandeur, tout en restant circulaire, jusqu'au moment où, approchant de l'élongation maximale, elle commença de perdre sa rotondité du côté opposé au soleil, et en peu de jours se réduisit à un demi-cercle. Elle demeura quelque temps sous cette forme, en fait jusqu'au moment où elle entreprit de revenir vers le soleil, en s'éloignant lentement de la tangente : depuis lors elle prend clairement l'aspect d'une corne, et continuera ainsi de s'amincir tant qu'elle sera vespérale. Le moment venu, nous la verrons matinale¹, avec de petites cornes très fines, à l'opposé du soleil : vers l'élongation maximale elle se changera en un demi-cercle, et celui-ci se maintiendra sans changement durant de nombreux jours. Après quoi, et très vite, Vénus passera du demi-cercle à une totale rotondité ; et pendant de longs mois nous la verrons ainsi parfaitement circulaire, mais fort petite, au point que son diamètre ne sera pas la sixième partie de ce qu'il paraît à présent. ... Nous voici assurés, mon Révérend père, que Vénus (et Mercure fera de même sans aucun doute) tourne autour du soleil, centre indubitable des révolutions de toutes les planètes ; de plus nous voici certains que ces planètes sont par elles-mêmes obscures et ne brillent qu'éclairées par le soleil (ce qui n'est pas le cas des étoiles fixes, d'après mes observations).

Galilée, 1610

- 1) Faites des dessins schématiques rendant la forme et la taille que prend Vénus au cours du temps, selon le récit de Galilée.
- 2) Pourquoi Galilée conclut-il que ses observations démontrent que Vénus tourne autour du Soleil ?
- 3) Quelle observation fait penser à Galilée que les planètes sont éclairées par le Soleil, au lieu de produire elles-mêmes la lumière qu'elles nous envoient ?

¹ matinale = le matin, avant le lever du Soleil

Le gnomon

Le cliché ci-dessous (© <http://www.gs-soft.fr/document/temps>) montre un gnomon, instrument connu dans l'antiquité pour mesurer l'heure et les saisons.



1) Expliquez comment l'éclairage du gnomon par le Soleil peut être utilisé pour mesurer l'heure.

2) Expliquez pourquoi cette heure est une heure *locale*.

3) Décrivez comment la longueur de l'ombre varie en fonction de la saison .

4) Expliquez comment la latitude géographique intervient dans le fonctionnement du gnomon (et comment, de ce fait, on peut utiliser le gnomon pour mesurer la latitude géographique).

5) Expliquez pourquoi on connaissait pendant longtemps mieux les latitudes géographiques que les

longitudes géographiques (ce qui fait que les cartes géographiques anciennes contiennent plus de déformations en longitude qu'en latitude).

Le mouvement des planètes et les images géocentrique et héliocentrique du monde

Les planètes, telles Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, se déplacent au cours de l'année devant le fond des étoiles lointaines. On note que ce déplacement n'est pas régulier. Le cliché ci-contre montre le déplacement de la planète Mars dans le ciel², devant le fond des étoiles « fixes ». L'image est en fait la somme d'images prises jour après jour. La planète décrit une boucle, au lieu de progresser régulièrement dans une direction donnée. Ce phénomène, dit « rétrogradation », était bien connu des astronomes de l'antiquité.



1) Que signifient les termes « géocentrique » et « héliocentrique » ?

2) Quel type de mouvement des planètes s'attendrait-on à observer depuis la Terre si celle-ci était immobile au centre d'orbites circulaires des planètes ?

3) Comment les astronomes de l'antiquité ont-ils expliqué la rétrogradation ? Que signifie le terme « épicycle » ?

4) Expliquez la rétrogradation dans l'image héliocentrique.

5) Quelles étaient les arguments de Galilée pour mettre en doute l'interprétation géocentrique des mouvements des planètes ?

² © http://www.cidehom.com/apod.php?_date=031216

Etoiles et gravitation

Une étoile dépasse l'autre par sa clarté, dit l'apôtre Paul. Et en effet, elles se distinguent considérablement par leurs taille, couleur et brillance, et je crois que la raison ne doit être cherchée que dans la composition de la matière formant les étoiles. Elles ne peuvent être des corps simples. Car en quoi se distingueraient-elles, sinon par leur composition ? C'est aussi la cause de la très grande variété des feux sub-lunaires, des aérolithes, comètes, météores, étoiles filantes et de la foudre. ... Des feux terrestres utiles à l'homme se distinguent aussi selon le combustible, qu'il s'agisse de l'huile ou de la poix, de roseaux, de papyrus ou des différentes espèces de bois en état humide ou sec.

Jean Philopon (Alexandrie, environ 490-575)

Nous avons également d'excellentes raisons de croire que la substance solaire est très semblable à celle de la Terre ... que du sodium existe certainement dans l'atmosphère du Soleil et dans les atmosphères de nombreuses étoiles ... L'application récente de ces principes ... a démontré avec la même certitude qu'il y a au Soleil du fer et du manganèse, et plusieurs autres des métaux qui nous sont connus.

Lord Kelvin, 1862

- 1) Expliquez en quoi le texte de Jean Philopon reflète une idée radicalement différente de la pensée régnant à l'époque où il fut écrit. Commentez aussi le constat que les différences des couleurs des étoiles reflètent des différences de composition.
- 2) Qu'entend-on, d'après Aristote, par les termes « sphère sub-lunaire » et « sphère supra-lunaire » ?
- 3) Sur quelles observations Lord Kelvin fonde-t-il son constat sur la « substance solaire » ?

Imaginons que les poussières minuscules ou les molécules isolées qui forment la nébuleuse primitive soient constituées par des atomes légers tels que ceux de l'hydrogène, de nébulium ou de hélium. En se heurtant les unes contre les autres, avec les grandes vitesses qu'elles avaient peut-être déjà en venant du large, ou qu'elles prennent en tombant vers le centre de la nébuleuse, ces particules dégagent de la chaleur, et la température moyenne s'élève progressivement. Ainsi, d'une part, la nébuleuse se contractant, les conjonctions doivent venir de plus en plus nombreuses entre atomes légers capables de se réunir en atomes lourds, et, d'autre part, la température s'élevant, l'intensité des radiations qui peuvent déterminer ces réunions va en croissant. Pour cette double raison, la formation d'atomes lourds devient notable, puis de plus en plus importante, s'accompagnant de rayons ultra X qui, pour la plus grande part, ne sortent pas de l'astre dont la température devient colossale : l'étoile s'est allumée.

Jean Perrin (1919)

La forme de la théorie météorique qui nous paraît maintenant la plus probable ... consiste à supposer que le Soleil et sa chaleur ont leur origine dans une agglomération de petits corps qui chutent à cause de leur gravitation mutuelle et engendrent, comme ils doivent le faire selon la grande loi démontrée par Joule, une quantité de chaleur exactement équivalente du mouvement perdu lors de la collision. ... Il n'y a pas de difficulté à rendre compte, par cette théorie, de 20 millions d'années [d'âge du Soleil].

Lord Kelvin (1862)

- 1) Esquissez l'évolution des idées sur la source d'énergie des étoiles au cours du temps.
- 2) Mettez en relief l'aspect nouveau de la solution que préconise Perrin.

« Toute recherche qui n'est pas finalement réductible à de simples observations visuelles nous est donc nécessairement interdite au sujet des astres, qui sont ainsi de tous les êtres naturels ceux que nous pouvons connaître sous les rapports les moins variés. Nous concevons la possibilité de déterminer leurs formes, leurs distances, leurs grandeurs et leurs mouvements ; tandis que nous ne saurions jamais étudier par aucun moyen leur composition chimique, ou leur structure minéralogique [...] »

Auguste Comte (1835)

« On trouve des différences remarquables entre les abondances astrophysiques et terrestres de l'hydrogène et de l'hélium. L'énorme abondance déduite pour ces éléments dans l'atmosphère stellaire n'est presque à coup sûr pas réelle. »

Cecilia Payne (1925)

« Nous avons également d'excellentes raisons de croire que la substance solaire est très semblable à celle de la Terre ... que du sodium existe certainement dans l'atmosphère du Soleil et dans les atmosphères de nombreuses étoiles ... L'application récente de ces principes [de la spectroscopie] ... a démontré avec la même certitude qu'il y a au Soleil du fer et du manganèse, et plusieurs autres des métaux qui nous sont connus. »

Lord Kelvin (1862)

- 1) Décrivez en quelques mots ce qu'est un spectre, comment on l'observe, les informations physiques qu'il renferme et quel rôle cette observation joue dans l'argumentation de chacun des auteurs cités plus haut.
- 2) Quelle était, selon Aristote, la nature des astres ? Décrivez l'évolution des idées sur ce sujet au cours de l'histoire, en vous servant des trois extraits de textes ci-dessus.

La nature du Soleil un article de Jean Perrin (1919) :

§49 L'évolution des astres. ...

On sait quel prodigieux rayonnement le Soleil répand dans l'espace sans s'épuiser apparemment et sans compensation connue. Il semblait qu'on ne pût voir d'origine à cette dépense dans les réactions chimiques : les plus violentes que l'on connût y suffiraient au plus pendant quelques milliers d'années (2000 ans environ pour un Soleil qui serait fait de charbon et d'oxygène). Lord Kelvin fit observer que la condensation de la nébuleuse primitive sous l'action de la gravitation constituerait une source d'énergie beaucoup plus importante. L'énergie de gravitation ainsi disparue dans la formation du Soleil équivaut à 20 millions d'années environ du rayonnement actuel, à 50 millions d'années si l'on compte le plus largement possible.

...

Vingt à cinquante millions d'années, voilà donc ce qui aurait dû suffire à l'histoire que

nous racontent les terrains lentement déposés au fond des mers, et les restes fossiles des végétaux ou des animaux. Or on sait que la discussion de ces données stratigraphiques et paléontologiques (auxquelles sont venues récemment se joindre celles que livrent les minéraux radioactifs), ne permet guère d'admettre que la Terre ou le Soleil aient beaucoup changé, s'ils ont changé, depuis un milliard d'années. Et nous n'apercevons d'ailleurs aucun signe d'un changement prochain. La théorie si remarquable de Kelvin est donc insuffisante.

Il semble que nous pouvons lever la difficulté. Imaginons que les poussières minuscules ou les molécules isolées qui forment la nébuleuse primitive soient constituées par des atomes légers tels que ceux de l'hydrogène, de nébulium ou de hélium. En se heurtant les

unes contre les autres, avec les grandes vitesses qu'elles avaient peut-être déjà en venant du large, ou qu'elles prennent en tombant vers le centre de la nébuleuse, ces particules dégagent de la chaleur, et la température moyenne s'élève progressivement. Ainsi, d'une part, la nébuleuse se contractant, les conjonctions doivent venir de plus en plus nombreuses entre atomes légers capables de se réunir en atomes lourds, et, d'autre part, la température s'élevant, l'intensité des radiations qui peuvent déterminer ces réunions va en croissant. Pour cette double raison, la formation d'atomes lourds devient notable, puis de plus en plus importante, s'accompagnant de rayons ultra X qui, pour la plus grande part, ne sortent pas de l'astre dont la température devient colossale : l'étoile s'est allumée.

Elle s'est allumée par un mécanisme en

définitif comparable à celui par lequel se déclenche la combustion d'un brasier préparé qu'on porte à une température suffisante. Et l'on se rend aisément compte, d'après les énergies des transformations radioactives, que la masse du Soleil peut aisément maintenir son rayonnement au taux actuel pendant plusieurs milliards, et peut-être pendant plusieurs dizaines de milliards d'années. Somme toute, on reprend ainsi la vieille idée d'une combustion, mais il s'agit, au lieu d'une combustion où les atomes se pénètrent à peine comme dans la formation de gaz carbonique, d'une pénétration profonde mêlant de façon beaucoup plus intime les noyaux atomiques. C'est la formation d'atomes lourds (du type radium), aux dépens des atomes légers (du type hélium), ou mieux encore c'est la disparition d'énergie potentielle électrique, et non d'énergie de gravitation, qui paie la prodigieuse dépense des rayonnements stellaires. ...

**Jean Perrin : Extrait de l'article « Matière et lumière
Essai de synthèse de la mécanique chimique », Annales de Physique xi, pp. 5-108 (1919)**

- 1) Résumez à partir de ce texte les différentes idées qui, au cours du temps, ont été émises pour expliquer où le Soleil puise l'énergie qu'il rayonne.
- 2) Selon quel critère juge-t-on qu'un processus donné de conversion d'énergie est susceptible ou non de donner une explication satisfaisante ?
- 3) Que signifie le terme « nébuleuse primitive » ?
- 4) Qu'entend-on par « fusion nucléaire » ?

Les taches solaires – extrait du *Dialogo* de Galilée

Le *Dialogue sur les deux systèmes du monde* de Galilée (publié en 1632) est un entretien fictif entre trois personnes, appelés Sagredo, Salviati et Simplicio, sur les deux grands modèles astronomiques qui s'affrontaient au début du 17^{ème} siècle. Ici un extrait sur les taches solaires :

SALVIATI : Mais vous, signor Simplicio, qu'avez-vous imaginé pour répondre à l'objection de ces taches importunes qui viennent troubler le ciel, et plus encore la philosophie péripatéticienne ? Défenseur intrépide de cette dernière, vous avez forcément trouvé le moyen d'y répondre, et ne pouvez pas nous en priver.

SIMPLICIO : J'ai entendu différentes opinions à ce sujet. Certains disent que ce sont des étoiles qui, à la façon de Vénus et Mercure, tournent autour du Soleil sur leurs orbites propres : passant au-dessous de lui³, elles nous paraissent obscures et, comme elles sont fort nombreuses, il leur arrive souvent de se réunir puis de se séparer. D'autres croient que ce sont des traces imprimées dans l'air, ou bien des illusions des lentilles, ou d'autres choses encore. Quant à moi, je suis très porté à croire et tiens même pour certain qu'il s'agit de divers corps opaques s'agrégeant par une rencontre occasionnelle pour ainsi dire : aussi voyons-nous souvent que, dans une même tache, on peut compter jusqu'à dix corpuscules, voire plus, de formes irrégulières, ressemblant à des flocons de neige, des bouts de laine ou des mouches qui volent ; ils changent de position les uns par rapport aux autres, tantôt se désagrégeant, tantôt s'agrégeant, surtout en dessous du Soleil autour duquel ils tournent comme autour de leur centre. Il n'est donc pas nécessaire de dire qu'ils sont engendrés et se corrompent, mais à certains moments ils sont cachés derrière le corps du Soleil, à d'autres moments on ne les voit pas parce que, bien qu'éloignés du Soleil, ils sont encore dans le voisinage de son immense lumière ... Tel est, selon moi, le meilleur moyen que l'on ait trouvé jusqu'à présent pour rendre compte de cette apparence tout en maintenant l'incorruptibilité et l'ingénérabilité du ciel. Si ce moyen ne suffit pas, il y aura des esprits plus élevés pour en trouver d'autres, meilleurs encore.

SALVIATI : Si on discutait d'un point de droit ou d'une autre partie des humanités dans lesquelles il n'y a ni vérité ni fausseté, on pourrait bien se fier à la subtilité d'esprit, la facilité de parole, l'aisance dans l'écriture, et espérer que quelqu'un, dépassant les précédents, montre et fasse reconnaître la supériorité de son raisonnement. Mais dans les sciences de la nature, les conclusions sont vraies et nécessaires, elles n'ont que faire de la volonté humaine, il faut donc se garder d'y prendre la défense du faux : mille Démosthènes, mille Aristotes perdraient la partie face à tout esprit moyen qui, par chance, aurait appréhendé la vérité. Signor Simplicio, n'y pensez plus, n'attendez plus la venue d'hommes plus savants que nous, plus érudits et nourris de livres, qui, au mépris de la nature, pourraient transformer en vrai ce qui est faux. De toutes les opinions présentées jusqu'à présent sur l'essence de ces taches solaires, celle que vous venez d'exposer vous semble la vraie; si c'est le cas, c'est que toutes les autres sont fausses. Pour vous délivrer de cette opinion totalement fautive, qui n'est qu'une chimère, je vais, laissant de côté mille autres improbabilités, vous présenter seulement deux expériences qui la contredisent.

Voici la première : on voit beaucoup de ces taches naître au milieu du disque solaire et beaucoup aussi se dissoudre et s'évanouir loin du bord du Soleil ; cela exige qu'elles soient engendrées et se corrompent; si, sans s'engendrer ni se corrompre, elles n'apparaissaient qu'en vertu d'un mouvement local, on devrait les voir toutes entrer et sortir sur le bord de

³ « au-dessous du Soleil » signifie ici entre le Soleil et la Terre

la circonférence. Voici l'autre observation : quand on n'ignore pas totalement la perspective, du changement apparent des figures et des vitesses du mouvement, il faut conclure que les taches sont contiguës au corps solaire et que, touchant sa surface, elles se meuvent avec lui ou sur lui ; elles ne tournent donc nullement sur des cercles éloignés de lui. A preuve, leur mouvement : il paraît très lent au bord du disque solaire et plus rapide vers le centre ; autre preuve encore, la forme des taches : au bord de la circonférence, elles paraissent beaucoup plus étroites qu'au centre ; c'est qu'au centre, on les voit en majesté, telles qu'elles sont vraiment, alors que, près de la circonférence, quand se dérobe la surface du globe, on les voit en raccourci. Pour qui a su soigneusement les observer et les calculer, ces deux diminutions, de forme et de mouvement, correspondent précisément à ce qui doit apparaître si les taches sont contiguës au Soleil, mais sont radicalement incompatibles avec un mouvement sur des cercles qui seraient, si peu que ce soit, éloignés du corps solaire Du même changement de forme on conclut qu'aucune d'elles n'est une étoile ou un autre corps de figure sphérique ; de toutes les figures, seule en effet la sphère n'est jamais vue en raccourci et ne peut jamais se présenter autrement que parfaitement ronde; si donc l'une des taches particulières était un corps rond, comme on le pense de toutes les étoiles, on la verrait ronde aussi bien au milieu du disque solaire que vers le bord. Or leur raccourci est d'autant plus important et elles apparaissent d'autant plus minces qu'elles sont plus proches du bord, alors qu'au contraire elles sont longues et larges vers le milieu : ce sont donc assurément des plaques peu profondes ou peu épaisses par rapport à leurs longueur et largeur.

Questions :

- a) Qu'est-ce qu'une « tache solaire » ?
 - b) Résumez en quelques phrases, avec vos propres mots, les interprétations du phénomène des taches solaires que proposent les deux protagonistes.
 - c) Expliquez par un croquis le raisonnement de Salviati utilisant la perspective pour démontrer que les taches en question sont sur le Soleil.
 - d) Décrivez brièvement les idées de l'Antiquité grecque sur le ciel et le mouvement des astres. Expliquez la distinction entre les sphères «sub-lunaire » et « supra-lunaire » .
 - e) Décrivez l'impact des observations des taches, tel qu'il apparaît dans la discussion entre Salviati et Simplicio, sur ces idées.
-

La Voie Lactée et les nébuleuses

« Quand nous réfléchissons aux aspects variés et aux perpétuels changements des planètes, du point de vue de leur mouvement héliocentrique et géocentrique, nous pouvons facilement imaginer qu'une simple position excentrique des étoiles pourrait en tout cas produire une telle apparence de désordre dans un ordre normalement régulier. Et de cette manière, comme les mouvements des planètes le seraient s'ils étaient vus depuis le Soleil, il devrait y avoir une place dans l'Univers depuis laquelle l'ordre et les mouvements originels devraient apparaître plus réguliers et plus beaux. »

Thomas Wright (1750)

« Si, dans l'espace incommensurable dans lequel tous les soleils de la Voie Lactée se sont formés, on suppose un point autour duquel, par je ne sais quelle cause, a commencé la première formation de la nature à partir du chaos, là-même se sera formée la masse la plus grande, un corps d'une attraction extraordinaire, qui de ce fait est devenue capable de contraindre tous les systèmes en formation compris dans l'énorme sphère qui l'entoure à tomber vers lui comme vers leur centre, et à former autour de lui le même système au niveau du Tout, que celui qu'a produit en petit autour du Soleil la même matière première élémentaire qui forma les planètes. »

Emmanuel Kant (1755)

Quels sont les arguments utilisés par Wright pour étayer sa théorie de la distribution des étoiles ?

Quels sont les deux modèles de Voie Lactée qu'il proposera ?

Sur quelle nouvelle théorie physique et sur quel raisonnement Kant base-t-il son modèle de formation de l'univers ?

Comment selon Kant, l'Univers se structure-t-il ? Qu'est-ce qui le distingue de celui de Thomas Wright ? Comment selon Kant, l'Univers se structure-t-il ?

Les deux représentations de Wright et Kant sont essentiellement spéculatives. Comment seront-elles testées et validées par l'observation ?

« Puisque les étoiles de la Voie Lactée sont en permanence exposées à l'action d'une puissance par laquelle elles sont irrésistiblement assemblées en groupes, nous pouvons être pratiquement certains que les purs assemblages d'étoiles seront graduellement compressés suivant des étapes successives d'accumulation. Le pouvoir d'assemblage agit jusqu'à ce que les objets stellaires atteignent ce que nous pouvons appeler la période de maturation de la forme globulaire, et d'isolement total. De cela, il est évident que la Voie Lactée devra finalement se morceler, et cesser d'être une couche d'étoiles éparpillées. »

William Herschel (1814)

Quelles sont les différentes formes d'objets nébuleux ou stellaires dans le classement d'Herschel ? Comment et selon quel principe les a-t-il ordonnées ?

Quelle est la place de la Voie Lactée dans le schéma évolutif qu'il propose ?

Quels ont été les principaux apports de William Herschel pour la compréhension de la structure de l'univers ?

« On doit peut-être aussi faire une hypothèse sur la perte que subit la lumière des étoiles très éloignées par son passage à travers d'immenses étendues spatiales, dont la plupart ne sont pas dépourvues de quelque milieu très subtil. Cette conjecture nous est suggérée par la couleur des très petites étoiles télescopiques, que j'ai trouvées généralement rouge, ou inclinant vers le rouge [...] »

William Herschel (1782)

« De nos observations spectroscopiques un fait intéressant se détache, à savoir l'existence probable de masses sombres dispersées dans l'espace. Ces masses sombres ont été observées à cause de la lumière de l'arrière-plan sur lequel elles sont projetées. Jusqu'à maintenant, ces masses ont été classifiées comme trou sombres. Cette interprétation est cependant très improbable, surtout après la découverte de la nature gazeuse des masses nébulaires. »

Angelo Secchi (1878)

« Une des conséquences sensationnelles du fait que la densité d'étoiles décroît avec la distance au Soleil est que nous devons admettre que notre système solaire doit être au centre ou près du centre de l'Univers, ou en tout cas près d'un centre local. Il y a vingt ans ceci m'aurait rendu très sceptique. [...] Ce résultat m'a également souvent mis mal à l'aise parce que, dans sa dérivation, la question de la diffusion de la lumière dans l'espace a été négligée. Il apparaît maintenant de plus en plus que la diffusion doit être trop petite et sa nature quelque peu différente de celle qui pourrait expliquer la variation de densité apparente. Par conséquent, cette dernière variation est presque sûrement réelle »

Jacobus Kapteyn (1915)

Quelles sont les preuves de l'existence de matière interstellaire avancées à travers ces trois textes ?

Pourquoi Kapteyn était-il sceptique ?

Qu'est-ce qu'ont apporté les techniques de la spectroscopie et de la photographie au débat sur la nature de la matière nébulaire ?

En quoi l'existence d'une telle matière peut-elle bouleverser notre représentation de l'univers ?

« Deux types d'organisations prévalent généralement dans l'espace extragalactique : les nébuleuses spirales, et les étoiles de types connus assemblées pour la plupart en amas globulaires. Et tandis que les amas globulaires actuellement connus sont, au moins partiellement, membres du système Galactique, les spirales n'en sont pas membres et habitent plutôt l'espace extragalactique. L'hypothèse demande que la Gravitation soit la puissance souveraine des étoiles et des amas d'étoiles, et qu'une force répulsive, une pression de radiation ou une force équivalente, prédomine dans le comportement des nébuleuses spirales. »

Harlow Shapley (1918)

Rappeler comment Shapley lie le système des amas globulaires à la Voie Lactée et les conclusions qu'il a tirées de leur observation.

Pourquoi parle-t-il de force répulsive à propos de la répartition des nébuleuses spirales dans l'espace?

Si, dans l'espace infini où se sont formés les soleils de la Voie Lactée, on suppose un point autour duquel, pour une cause je ne sais laquelle, a commencé la première formation de la nature au sein du chaos, là a dû se former la plus grande masse, un corps doué d'une attraction extraordinaire, qui est ainsi devenu capable de forcer tous les systèmes en formation dans l'énorme sphère de son activité, à tomber vers lui comme leur centre, et à former autour de lui un immense système, qui reproduit dans d'immenses proportions celui que la même matière élémentaire a formé autour du soleil.

L'observation met cette hypothèse à peu près hors de doute. La foule des astres, par sa disposition générale par rapport à un plan fondamental, constitue un système, tout comme les planètes de notre monde solaire autour du soleil. La Voie Lactée est le zodiaque de ces mondes d'ordres supérieurs, qui s'écartent aussi peu que possible de sa zone; et cette bande est éternellement illuminée de leur éclat, comme le zodiaque des planètes s'éclaire çà et là de leur lumière, en un petit nombre de points il est vrai. Chacun de ces soleils, avec les planètes qui l'entourent, forme un système particulier, mais cela ne les empêche pas d'être les membres d'un plus grand système; de même que Jupiter et Saturne, malgré leur cortège de satellites, sont compris dans la constitution systématique d'un monde encore plus grand. Peut-on ne pas reconnaître une même cause et un même mode de développement à ces mondes dont la constitution concorde d'une manière si frappante ?

Mais si les étoiles forment un système, dont l'étendue est définie par la sphère d'attraction du corps qui en occupe le centre, ne peut-il pas exister plusieurs systèmes de soleils, et pour ainsi dire plusieurs voies lactées, qui se sont développés dans les champs illimités de l'espace ? Nous avons reconnu avec admiration dans le ciel des formes qui ne sont autre chose que des systèmes d'étoiles groupées autour d'un plan commun, des voies lactées, si j'ose m'exprimer ainsi, qui, différemment inclinées par rapport à nous, se présentent sous une forme elliptique, avec un éclat affaibli en proportion de leur distance infinie; ce sont des systèmes d'un diamètre un nombre infini de fois infiniment plus grand, pour parler ainsi, que le diamètre de notre système solaire; mais ils sont sans aucun doute produits de la même façon, ordonnés et réglés par les mêmes lois et ils se conservent par un mécanisme analogue à celui de notre propre système.

Le système cosmologique de Emmanuel Kant

(Histoire Générale de la Nature et Théorie du Ciel, 1755)

- 1) Extraire du texte les éléments principaux du système cosmologique de Kant.
 - 2) Séparer les arguments de Kant en trois catégories : spéculatifs, analogiques et observationnels
 - 3) En quoi son modèle est-il d'inspiration Newtonienne ? Qu'est-ce qui distingue la représentation de Kant de celle de ses deux contemporains Lambert et Wright ? Quelles sont au contraire les similitudes ?
 - 4) Quels sont les successeurs de Kant, astronomes ou philosophes, et les découvertes qui viendront étayer cette première « théorie des univers-îles »
-

La question de savoir si les nébuleuses sont des galaxies extérieures ne demande plus de longues discussions. Le progrès de la recherche y a répondu. Nous pouvons dire en toute sécurité qu'avec toutes les preuves disponibles devant lui, aucun penseur compétent ne peut désormais soutenir que les nébuleuses sont des systèmes d'étoiles de même rang que la Voie Lactée. Une certitude pratique a été atteinte à propos du fait que l'entier des contenus stellaires et nébulaires de la sphère céleste appartient à une agglomération considérable, et se tient à l'intérieur des limites d'un vaste schéma par des relations mutuelles ordonnées. Vaste, cela signifie aussi loin que s'étendent nos capacités à connaître. La science ne se préoccupe pas des infinies possibilités situées au-delà.

Les principales raisons qui justifient l'assertion selon laquelle le statut des nébuleuses est intragalactique sont de trois sortes. Elles dépendent, premièrement, de la nature des corps eux-mêmes; deuxièmement, de leurs associations stellaires individuelles; troisièmement, de leur arrangement systématique comparé à l'arrangement systématique des étoiles.

Une opinion d'Agnès Clerke, astronome et historienne anglaise
(Le Système des Etoiles, 1905)

- a) Que pensez-vous de cette déclaration de Agnès Clerke ? Reflète-t-elle l'opinion de ses contemporains ?
- b) Explicitez en particulier, en les détaillant, les arguments donnés dans le second paragraphe
- c) Quels sont les éléments et découvertes de la première moitié du vingtième siècle qui seront déterminants pour notre compréhension de la structure Galactique et du statut des nébuleuses ?

La construction des cieux selon Sir John Herschel

On propose ci-après un extrait du Traité d'Astronomie de sir John Herschel, dont la première édition (anglaise) date de 1830. Ce livre est un ouvrage général comportant quelques 600 pages réparties en 13 chapitres, dont l'avant dernier, qui nous intéresse plus particulièrement, s'intitule « Astronomie Sidérale »...

- 1) Retracer les apports des Herschel's père et fils dans le contexte scientifique de leur époque.

- 2) De ce que l'on connaît aujourd'hui, à quels types d'objets célestes correspondent les différentes catégories de nébuleuses décrites par sir John Herschel ?

- 3) Quel scénario de formation ou d'évolution associe-t-il à ces différents états nébulaires ?

- 4) En particulier, quel a été le statut des nébuleuses dites « planétaires » dans les scénarii successifs de William Herschel ? Et qu'en savons nous aujourd'hui ?

- 5) Comment sir John Herschel interprète-t-il les différences observées entre les différentes nébuleuses ? Est-ce instrumental ou intrinsèque ?

- 6) Quels nouveaux types d'observation permettront effectivement de trancher la question quant à la nature de ces objets nébuleux ?

616. On doit à sir W. Herschel la plus complète analyse des objets très-variés que l'on comprend sous la dénomination commune de nébuleuses, mais qu'il

a classés comme il suit : 1° amas d'étoiles où les étoiles peuvent être nettement discernées, et qui se distinguent en amas globulaires et amas irréguliers; 2° nébuleuses résolubles, que l'on soupçonne fortement d'être formées par une agglomération d'étoiles, et qui se résoudraient probablement en étoiles distinctes, du moment qu'on amplifierait le pouvoir du télescope; 3° nébuleuses proprement dites, où il n'y a pas d'apparence que la nébulosité puisse se résoudre en étoiles, et qui se répartissent à leur tour en trois classes secondaires, d'après leurs dimensions et leur éclat, savoir : 4° nébuleuses planétaires; 5° nébuleuses stellaires; 6° étoiles nébuleuses. Le grand pouvoir de ses télescopes nous a révélé l'existence d'un nombre immense de ces objets, qui ne sont point uniformément distribués sur la voûte céleste; mais qui, généralement parlant, semblent répartis de préférence sur une large zone, laquelle croise presque exactement à angles droits la voie lactée, et dont la direction générale ne s'écarte pas beaucoup de celle du cercle horaire de 6^h et 12^h*. Dans quelques parties de cette zone, et spécialement vers celles où elle coupe les constellations de la Vierge, de la Chevelure de Bérénice, et de la Grande-Ourse, les nébuleuses sont accumulées en grand nombre; mais la plupart d'entre elles sont télescopiques, et ne peuvent être vues qu'à l'aide des plus puissans instrumens.

617. Les amas d'étoiles sont globulaires, comme ceux que nous avons déjà décrits, ou d'une figure irrégulière. Les derniers sont, généralement parlant, moins riches en étoiles, et surtout moins condensés vers le centre. Ils ont aussi des contours moins bien marqués; en sorte qu'il n'est souvent pas aisé de dire s'ils se terminent quelque part, ou s'il faut seulement les considérer comme des portions du ciel plus riches en étoiles que celles qui les entourent. Quelques-uns sont formés d'étoiles à peu près toutes égales entre elles; il n'en est pas de même pour d'autres amas, et l'on y rencontre fréquemment une étoile rutilante, beaucoup plus éclatante que toutes les autres, placée à leur égard dans quelque situation remarquable. Sir W. Herschel les regarde comme des amas globulaires, dans un état moins avancé de condensation; et il conçoit que les groupes de ce genre se rapprochent, par l'effet de l'attraction mutuelle de leurs élémens, de la forme globulaire: phénomène dont nous n'avons, il est vrai, d'autre preuve que la gradation qui s'observe d'un groupe à l'autre; en sorte qu'il est impossible de les séparer par une division tranchée de caractères.

618. Les nébuleuses résolubles peuvent être considérées comme des amas trop éloignés, ou formés d'étoiles d'un éclat intrinséquement trop faible pour être individuellement aperçues; sinon lorsqu'il arrive que deux ou trois se rapprochent assez pour que leurs lumières réunies nous donnent l'image d'un point plus brillant que le reste. Les nébuleuses de ce genre sont généralement rondes ou ovales; comme

si les appendices et les irrégularités de forme disparaissent en raison de la distance, de manière à ne laisser voir que l'ensemble de la figure des parties les plus condensées. L'apparence en est la même que celle des grands amas globulaires dans des télescopes d'un pouvoir médiocre; et la conclusion qu'on en tire naturellement, c'est que les nébuleuses qui paraissent seulement résolubles dans les instrumens d'un grand pouvoir, se résoudraient effectivement, si l'on amplifiait encore le pouvoir des télescopes.

619. Les nébuleuses proprement dites s'offrent sous une grande variété d'aspect. Les plus remarquables de beaucoup sont celles qu'on a représentées dans les fig. 2 et 3 de la planche III. La première, découverte par Huyghens en 1656, est figurée telle qu'on l'a vue à Slough dans le réflecteur de 20 pieds: elle entoure l'étoile quadruple, ou plutôt sextuple θ , dans la constellation d'Orion. L'autre, découverte par Lacaille près de l'étoile η , dans la constellation australe le Chêne de Charles, est donnée d'après la figure de M. Dunlop (*Phil. Trans.* 1827); et l'aspect de ces objets, ou du moins du premier, est très-différent de celui qui devrait résulter de l'aggrégation d'une multitude innombrable de petites étoiles. Le premier consiste en petites masses ou flocons nébuleux, qui semblent adhérer vers leurs bords à une foule de petites étoiles, et notamment à une étoile considérable (représentée sur la figure au bas de la nébuleuse), laquelle est entourée d'une atmosphère nébuleuse, remarquable par son étendue et la singularité de sa figure. Quelques astronomes, en compa-

rant cette nébuleuse avec les figures données par Huyghens, en ont conclu qu'elle éprouvait dans sa forme des changemens perceptibles: mais on sera fort éloigné de regarder ce fait comme certain, si l'on considère à quel point il est difficile de rendre exactement un objet semblable, et combien il diffère d'aspect, vu dans le même télescope, selon la transparence de l'air et d'autres circonstances variables.

620. La planche II, fig. 3, représente une nébuleuse d'un caractère tout différent: l'original de cette figure est dans la constellation d'Andromède, près de l'étoile ν . Elle est visible à l'œil nu, et ceux qui ne sont pas familiarisés avec l'aspect du ciel, la prennent toujours pour une comète. Simon Marius, qui l'a signalée en 1612, la compare avec assez de justesse à une chandelle vue à travers de la corne. Sa forme est celle d'un long ovale, dont l'éclat va en croissant depuis les bords, en premier lieu par degrés insensibles, puis avec beaucoup plus de rapidité, jusqu'à un point central, qui ne peut évidemment être pris pour une étoile, quoique beaucoup plus brillant que le reste, mais seulement pour une nébuleuse à un plus haut degré de condensation. On aperçoit dans cette nébuleuse quelques petites étoiles, mais dont la présence est manifestement accidentelle, et la nébuleuse elle-même n'offre rien dans son aspect d'où l'on puisse induire qu'elle consiste en étoiles. Les dimensions en sont considérables, puisqu'elle a près d'un demi-degré de longueur, sur 15 ou 20 minutes de largeur.

621. On peut considérer l'objet qui vient d'être décrit comme étant, sur une grande échelle, le type

