

V

LA CONSTITUTION DU SOLEIL

(The Reader, 25 février 1865.)

Comparaison d'une hypothèse de l'auteur sur la structure du soleil avec celle de M. Faye. — Ressemblance des deux : le corps du soleil est, dans l'une et l'autre, fait de gaz très-chauds ; la condensation s'y produit d'abord à la surface et non au centre. — Différence : dans la première, il s'est déjà formé autour de ce corps une enveloppe liquide incandescente, elle-même environnée d'une photosphère ; dans la seconde, l'enveloppe liquide manque encore : elle apparaîtra plus tard et causera bientôt l'extinction de l'astre.

Objection à M. Faye. — La densité moyenne du soleil ne permet pas d'en faire un corps purement gazeux. — Les taches ne peuvent être des ouvertures par où apparaîtraient les gaz obscurs du noyau : ces gaz obscurs seraient nécessairement translucides et laisseraient paraître l'autre côté de la photosphère.

Aspect général du soleil, expliqué par la première hypothèse. — Les *taches lumineuses* et les *pores* : courants ascendants écartant les nuages et laissant mieux voir la surface en fusion. — Les *facules*. — Les *taches brillantes* extraordinaires. — Les *taches obscures* : explication voisine de celle de Kirchhoff ; formation de nuages obscurs dans la dépression centrale des cyclones solaires. (TR.)

L'hypothèse de M. Faye, que vous avez exposée dans vos numéros du 28 janvier et du 4 février, est sur bien des points identique à une hypothèse que j'ai osé mettre en avant dans un article sur « l'astronomie contemporaine et l'hypothèse de la nébuleuse », dans la *Revue de Westminster* de juillet 1858. En recherchant les causes possibles des différences énormes qu'on trouve entre les densités des diverses planètes, je fus conduit à mettre en doute une hypothèse qu'on admet facilement : celle qui veut que toute planète soit, du centre à la surface, faite de matières solides et liquides. Il me parut qu'on pouvait avec autant de droit leur attribuer toute autre structure interne qui leur assurerait une stabilité mécanique convenable. Alors se présenta à moi cette hypothèse d'une enveloppe solide ou liquide, dont la cavité serait remplie de substances gazeuses à une haute tension et à une haute température ; elle me parut digne d'attention, parce qu'elle nous promettait une explication des anomalies dont il s'agissait, ainsi que de diverses autres ¹.

1. Cette idée a été exposée par M. Spencer dans un passage de son *Essai sur l'Hypothèse de la Nébuleuse*, qu'il a depuis supprimé. Elle repose sur cette

De là cette question : Quelle structure aurait une planète formée par la condensation d'une nébuleuse ? « Si l'on part d'un sphéroïde gazeux en rotation, arrivé aux derniers moments de sa concentration, sans qu'il ait encore commencé à prendre une forme solide ou liquide, » les phénomènes qui s'y accompliraient nous ont semblé devoir être les suivants : condensation croissante ; par suite, développement de chaleur ; température plus grande au centre qu'à la surface ; de là un manque d'équilibre ; établissement de courants gazeux allant du point le plus chaud au plus froid, le long des lignes où la résistance à la dilatation est minima ; en conséquence, circulation constante allant du centre par l'axe de rotation vers chaque pôle ; puis de là, grâce à l'accumulation de la matière au pôle, épanchement du trop-plein en des courants superficiels dirigés vers l'équateur ; tandis que, d'autre part, ces courants se trouvent balancés par un affaissement continu, dans la direction du centre, des couches équatoriales. Je continuais en établissant que les gaz allant du centre vers l'équateur par les pôles, se refroidiront

thèse, que « certains gaz ne peuvent être condensés par aucune pression connue, même si l'on fait échapper la chaleur produite par la pression. » M. Spencer invoque, à cette occasion, « une expérience faite à Vienne pour liquéfier l'oxygène, et qui met en évidence ce que cette résistance a de prodigieux. Le piston d'acier dont on se servit fut à la lettre aplati par la pression : le gaz ne se liquéfia pas ! » — En effet, dans les expériences du Prof. Natterer pour la vérification de la loi de Mariotte, dont il s'agit ici, les gaz dits incoercibles furent soumis à des pressions très-fortes (près de 3,000 atm.), sans y céder. Mais on sait qu'en janvier 1878, M. Cailletet d'une part, et M. Pictet de l'autre, sont arrivés simultanément à un résultat plus heureux, avec des pressions bien moins grandes : 200 atm. suffisent à liquéfier l'hydrogène, 650 à le solidifier ; seulement il faut faire intervenir un autre facteur : le refroidissement produit par la détente brusque du gaz comprimé (-140° et plus). Il est clair que les gaz dont parle M. Spencer supportent des pressions bien supérieures à celle qui est nécessaire pour les réduire. Mais les conditions de température peuvent-elles se réaliser dans le cas dont il s'agit ? De là dépend aujourd'hui la valeur du raisonnement de M. Spencer.

(TR.)

d'abord par leur dilatation à l'approche de la surface, puis par leur rayonnement plus libre vers l'espace ; d'où je concluais que la surface du sphéroïde, auprès de l'équateur, serait la région du plus grand refroidissement. C'est donc là que devaient se déposer les premiers précipités.

« Une ceinture équatoriale de vapeurs se formera d'abord, puis s'élargira en une zone, et peu à peu se condensera sous forme fluide (liquide). Cette pellicule fluide (liquide) s'étendra par degrés de chaque côté de l'équateur, empiètera sur les deux hémisphères, et finira par se fermer sur les pôles ; elle produira ainsi un mince globe creux, ou plutôt un sphéroïde, rempli de matière gazeuse. Non pas que cette condensation doive se produire à la surface tout à fait extérieure ; car autour des gaz plus denses, formant la masse principale, s'étendront sans doute des couches de gaz trop rares pour concourir à ces phénomènes. C'est de la surface de ce sphéroïde intérieur fait de gaz plus denses qu'il s'agit dans notre raisonnement ; c'est là que s'accomplira cette condensation première.

« La circulation intérieure ci-dessus décrite continuant, comme elle ne peut manquer de le faire, après la formation de cette pellicule liquide, le rayonnement de chaleur se poursuivra, et avec lui la condensation. La pellicule s'épaissira aux dépens des substances gazeuses de l'intérieur qui s'y uniront en forme de précipité. A mesure qu'elle s'épaissit, que le globe se contracte, et que la force de gravitation augmente, la pression croît ; par suite, le dégagement et le rayonnement de chaleur se poursuivent avec plus de rapidité. A la longue toutefois, l'enveloppe liquide pourra devenir fort épaisse, et la cavité

intérieure relativement petite ; alors cette enveloppe, avec ses courants lents, s'opposera au dégagement de la chaleur, et c'en sera peut-être assez pour faire pencher la balance : la température de la surface extérieure se mettra à baisser, et une croûte compacte se formera, sans que la cavité intérieure soit encore comblée de matières solides. »

Je laisse ici de côté les diverses confirmations de cette déduction *a priori*, que l'on peut tirer, comme je l'ai fait voir, des différences entre les densités des planètes aussi bien que de divers autres caractères secondaires de ces corps. J'arrive aux conclusions que j'avais déduites de l'hypothèse touchant la constitution du soleil. Comme la marche de la condensation est essentiellement la même pour tous les sphéroïdes nébuleux qui se concentrent, planètes ou soleil, j'en conclus que le soleil en est actuellement à cet état d'incandescence que toutes les planètes ont depuis longtemps dépassé ; ce qui explique la lenteur de son refroidissement, c'est sa condensation plus récente, et aussi le rapport infiniment plus grand de sa masse à sa surface. J'admis que le soleil était arrivé à la structure que voici : une enveloppe en fusion, enfermant un noyau gazeux ; j'en déduisis que cette enveloppe, rayonnant toujours sa chaleur, mais en récupérant toujours de nouvelle par l'incessante concentration de la masse solaire, doit demeurer constamment à la température où la substance dont elle est faite se sublime.

« Si nous nous reportons à la terre, alors qu'elle était encore en fusion à la surface, et à ce qui a dû s'y passer, nous verrons que probablement, autour de la surface encore en fusion du soleil, se trouve une couche de gaz lourds faits de métaux et composés

métalliques sublimés ; puis, au-dessus, une couche comparativement rare et semblable à l'air. Or que doivent devenir ces deux couches ? Si toutes deux étaient faites de gaz permanents, elles ne pourraient demeurer distinctes : d'après une loi bien connue, elles finiraient par former un mélange homogène. Mais ce phénomène devient impossible ici, la couche inférieure étant faite de substances qui ne sont gazeuses qu'à des températures extrêmement hautes. S'élevant d'une surface en fusion, montant alors, se dilatant, se refroidissant, elles atteignent ainsi une hauteur limite, passé laquelle elles ne peuvent exister à l'état de vapeurs, se condensent et se précipitent. Cependant la couche supérieure, chargée à l'ordinaire d'une dose suffisante de ces vapeurs, comme notre air l'est d'eau, et prête à les précipiter au premier abaissement de température, ne pourra généralement pas recevoir un surcroît de gaz empruntés à la couche inférieure, et par suite cette couche restera tout à fait distincte. » (P. 95.) Nous concluons donc qu'il y aura deux atmosphères concentriques, ayant une limite ou surface de séparation bien définie.

Dans une édition revue de cet Essai, que je publiai avec d'autres en novembre 1863, j'ajoutai ce qui suit :

« Depuis l'époque où le paragraphe précédent parut pour la première fois (1858), la proposition qui s'y trouve avancée à titre de corollaire de l'hypothèse de la nébuleuse a été en grande partie vérifiée. Après les merveilleuses découvertes dues à l'analyse spectrale, il n'est plus possible de douter que l'atmosphère solaire ne contienne, à l'état gazeux, divers métaux : fer, calcium, magnésium, sodium, chromium et

nickel, avec quelques traces de barium, de cuivre et de zinc.

« N'oublions pas non plus de le dire, les découvertes de Kirchhoff ont une importance notable pour la théorie que nous avons soutenue dans un passage précédent. A part le barium, le cuivre et le zinc, qui paraissent n'être là qu'en petites quantités, les métaux qui se trouvent à l'état de vapeur dans l'atmosphère solaire, et par conséquent à l'état liquide dans le noyau incandescent, ont une densité moyenne de 4,25. Or la densité moyenne du soleil est de 1 environ. Comment expliquer cette différence? De dire que le soleil est formé presque uniquement des trois plus légers d'entre les métaux énumérés, c'est dépasser de beaucoup ce qui est prouvé; les résultats de l'analyse spectrale nous autoriseraient tout aussi bien à dire que le soleil est fait presque entièrement des trois plus pesants. Trois de ces métaux (dont deux lourds) ont déjà été mis hors de cause, comme paraissant n'exister là qu'à de faibles doses; la seule supposition sur laquelle on puisse baser une estime sérieuse du poids spécifique du tout, c'est donc celle-ci: que les autres s'y trouvent en quantités à peu près égales. Serait-ce alors que les métaux les plus légers prédomineraient dans le noyau en fusion, tout en étant moins abondants dans l'atmosphère? La chose est bien invraisemblable: les habitudes connues de la matière nous feraient plutôt admettre le contraire. Serait-ce que, avec la température et la force gravitative qui règnent sur le soleil, l'état de condensation dit liquide y serait absolument différent de ce qu'il est sur la terre? C'est là une hypothèse bien hasardée; notre expérience à la surface de la terre ne nous fournit rien de concluant en sa

faveur; et, quand on admettrait cette dissemblance, il n'est guère à croire qu'elle pût faire varier les densités dans la proportion de 4 à 1. La conclusion la plus légitime, c'est que le soleil n'est pas dans toute sa profondeur fait de matière en fusion; qu'il est formé d'une enveloppe en fusion, avec un noyau gazeux. Et c'est là, nous l'avons vu, un corollaire de l'hypothèse de la nébuleuse. »

Cette conception de la structure du soleil est semblable à celle de M. Faye, en ce qui concerne les métamorphoses successives de cet astre, les formations qui en ont résulté, et son état final; mais elle en diffère en ce qu'elle suppose la condensation de soleil plus avancée que ne le croit M. Faye. A en juger par votre résumé de la brochure de M. Faye, le soleil, pour lui, serait aujourd'hui un sphéroïde gazeux avec une enveloppe de métaux à l'état de précipité et condensés en nuages lumineux; ces nuages seraient parfois dispersés, sur tel ou tel point, par des courants venus de l'intérieur; de là cette apparence que nous nommons les taches; quant à la formation d'une enveloppe liquide, il la prévoit comme un événement futur, qui aura pour conséquence prochaine l'extinction de l'astre. Au contraire, dans l'hypothèse ci-dessus exposée, l'enveloppe liquide existe déjà au-dessous de la photosphère visible; et l'extinction ne peut se produire avant que, la condensation se poursuivant, le noyau gazeux ait été réduit et l'écorce épaissie au point de retarder considérablement le dégagement de la chaleur produite. Cette hypothèse échappe, je crois, à quelques objections qui valent contre celle de M. Faye; et elle s'accorde avec les apparences aussi bien, si ce n'est mieux. Comparons-les ensemble.