

THÉORIE DU SOLEIL

PAR

A. BRESTER Jz.

Docteur ès sciences.

Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

(Eerste Sectie).

DEEL I. N^o. 3.

AMSTERDAM,
JOHANNES MÜLLER.
1892.

AVANT-PROPOS.



„Il est certaines vérités, qu'on entrevoit assez facilement ; la difficulté est de les présenter sous un aspect assez saisissant pour convaincre les autres”. Profondément convaincu de la justesse de cette observation de Secchi (a) j'espère que l'aspect donné à cet ouvrage vaudra au moins à ma théorie un accueil sympathique.

Cet aspect est tel en tout cas que „les autres” y pourront voir démontré à chaque page que c'est uniquement sur leurs observations astronomiques et sur leurs études physiques et chimiques de la matière que se base ma théorie nouvelle, et que si j'arrive ainsi à l'explication des phénomènes, c'est donc le travail des „autres”, qui est couronné de succès. Pour ma part je n'y ai contribué ni par la moindre observation nouvelle, ni par la moindre hypothèse nouvelle non plus quant aux propriétés de la matière. Le travail des autres suffisait.

J'ai adopté aussi la presque-totalité des idées généralement acceptées des autres quant à la constitution des astres. Pour moi aussi le soleil est gazeux et sa photosphère est une nappe nuageuse plus ou moins trouée, que le refroidissement a fait condenser à l'extérieur. *Il n'y a qu'une seule idée généralement acceptée, que ma théorie rejette, c'est celle des éruptions solaires.*

Car si le soleil de ma théorie a la même constitution que celui de la théorie des autres, il se comporte tout différemment. Tandis que le soleil des autres, jouet de forces éruptives entièrement inconnues, nous montre le spectacle stupéfiant d'un immense soleil de feu d'artifice, le soleil de ma théorie au contraire repose éternellement dans une tranquillité sereine.

Si les protubérances accusent des vitesses prodigieuses, si leurs sommets montent même quelquefois avec des vitesses de plus de mille kilomètres par seconde (40) (b), nous ne voyons là que des

(a) A. Secchi : Le Soleil (2^{me} Edit. 1877) II p. 127.

(b) Afin de pouvoir préciser chaque fois à quelle particularité de ma théorie j'aurai

déplacements de l'état lumineux dans la matière tranquille. Et cette matière est même tellement tranquille, que là justement où les protubérances la traversent sans relâche, elle conserve indéfiniment ses éléments différemment lourds nettement triés en couches superposées, que M. Lockyer a comparées avec les pelures d'un oignon (c).

Les éruptions solaires n'existent pas. Nées du raisonnement naïf que là où un phénomène lumineux se déplace la matière lumineuse elle même se déplacerait aussi et patronnées plus tard par une interprétation nullement convaincante du déplacement des raies spectrales (150), elles sont en contradiction avec tout l'ensemble des phénomènes solaires et n'en expliquent aucun (131). Ces phénomènes mêmes, qui comme les protubérances semblent au premier abord trouver dans l'hypothèse des éruptions solaires une explication facile, sont en réalité en désaccord si complet avec cette hypothèse stérile, que les partisans eux-mêmes de l'hypothèse, et parmi eux au premier rang M. Young, l'observateur éminent du soleil, sont forcés d'avouer „qu'à tout prendre, on dirait que nous devons regarder les protubérances „comme différant du milieu qui les entoure, principalement, sinon „entièrement, par leur luminosité — comme simplement des portions „surchauffées d'une immense atmosphère" (d) (34, 39).

La tranquillité du soleil doit être bien évidente si les partisans les plus convaincus des éruptions solaires sont près de la reconnaître là même où elle semble le plus fortement troublée !

Mais si ma théorie du soleil tranquille répond parfaitement à toutes les observations astronomiques, si parmi toutes ces observations il n'y en a pas une, que je sache, qui soit avec elle en contradiction, si ces observations forment aujourd'hui son plus solide appui, ce ne sont pourtant pas ces observations qui me l'ont fait trouver. Ma théorie est une théorie chimique. Les astres n'étant après tout que des bulles énormes de gaz incandescent, et les gaz incandescents étant précisément les corps que la Chimie connaît le mieux, il m'a semblé que pour étudier les astres il fallait en premier lieu consulter la Chimie. Si ces bulles énormes sont composées d'une matière immensément disgrégée, c'est à dire évaporée, dissociée et dilatée par une chaleur transcendante, c'est donc à la Chimie de nous faire prévoir ce qui arrivera lorsque dans cette matière disgrégée la chaleur va se perdre par rayonnement.

à me référer, j'ai numéroté les alinéas du texte. C'est à ces alinéas que renvoient les nombres, que j'ai placés en parenthèses.

(c) J. Norman Lockyer: *the Chemistry of the Sun* (1887) p. 304.

(d) C. A. Young: *Le Soleil* (Bibl. scientif. intern.) 1883, p. 241. — Secchi: *le Soleil II*, p. 108.

Or tous les phénomènes que la Chimie paraît prévoir alors sont précisément ceux que les astres nous présentent. Et les astres se comportent donc comme des mécanismes chimiques que les forces étudiées dans nos laboratoires suffisent complètement à expliquer. Si telle est la vérité, qui ressortira clairement, j'espère, de l'étude de ma théorie, la tranquillité intérieure des corps incandescents célestes s'explique si facilement comme conséquence de leur constitution chimique, et cette explication est tellement propre à donner une idée des principes de ma théorie, que je ne puis m'empêcher de donner déjà ici de cette explication (49—56) un Aperçu sommaire.

Il est clair tout d'abord qu'une cause perturbatrice extérieure analogue à la cause unique de nos cyclones terrestres ne peut exister à l'extérieur des corps incandescents célestes. Et ces corps seront donc sous ce rapport tout aussi tranquilles que le serait notre atmosphère si le soleil n'existait pas. Or, si une cause perturbatrice extérieure n'y existe pas, on ne voit pas (à moins d'admettre des forces éruptives entièrement inconnues) qu'une cause perturbatrice intérieure y existe bien. Car cette cause ne pourrait être qu'un refroidissement inégal. Et un tel refroidissement y est impossible, parce que l'état dissocié et évaporé de la masse y rend impossible même le moindre refroidissement soudain. Car la matière incandescente céleste étant riche en molécules disgrégées toujours prêtes à s'agréger dès que la moindre perte de chaleur le permet, ces molécules empêcheront toujours par la chaleur alors produite dans leur agrégation que la température de la masse immense du corps céleste baisse d'une manière notable.

Tout comme la vapeur d'eau en perdant de la chaleur ne peut se refroidir au dessous de 100° tant que toute sa masse n'a pas encore été convertie en eau, tout gaz incandescent céleste ne peut diminuer en température, tant que toutes les matières devenant condensables à cette température n'auront pas encore été toutes condensées (51). Or si les gaz incandescents célestes n'en sont pas encore à cette extrémité, leur calme intérieur n'a rien pour nous surprendre.

La seule force que ma théorie montre à l'oeuvre dans l'astre incandescent tranquille, comme cause unique des phénomènes, que cet astre nous fait voir, c'est l'attraction de ses molécules disgrégées se condensant toujours davantage et restaurant ainsi toujours au possible la température première, à mesure que leur chaleur s'épuise dans les rayons que l'astre émet. Si toutes ces molécules n'exigeaient qu'un refroidissement infinitésimal pour se condenser tout de suite, il en résulterait bien toujours l'invariabilité de la température et la tranquillité intérieure par conséquent du gaz stellaire, mais il ne s'en

suivrait aucun des phénomènes caractéristiques que le soleil par exemple et les étoiles variables nous font observer.

Mais ma théorie explique que parmi les molécules dissociées stellaires il doit y en avoir qui, loin d'être prêtes à se réunir au moindre refroidissement, demeureront alors *surdissociées* dans la masse tranquille, et auront besoin d'un refroidissement de plus longue durée pour se réunir, produisant alors une chaleur d'autant plus considérable que leur surdissociation aura duré plus longtemps.

Ces décharges intermittentes de l'énergie chimique, que j'ai nommées „*éruptions de chaleur*” sont d'après ma théorie la cause principale des phénomènes périodiques stellaires. Ce sont elles, qui évaporant par intervalles les nuages obscurcissants, dont les étoiles les plus refroidies sont enveloppées, produisent les rehaussements d'éclat dans les *étoiles variables*. Ce sont elles, qui évaporant localement les nuages photosphériques du soleil, y creusent des trous que nous apercevons comme *taches*. Ce sont elles aussi, qui en rendant lumineux les endroits, où dans l'atmosphère tranquille du soleil, les éléments jusqu'ici dissociés se combinent dès que leur perte continuelle de chaleur le permet, y allument les *protubérances* et les *rayons de la couronne*.

Ces protubérances et ces rayons coronaux, bien loin donc d'être les effets de courants monstrueux, nous font voir au contraire comment l'énergie chimique du soleil rend ces courants impossibles. Car cette énergie ne peut tolérer que des commencements de refroidissement, engendrant tout de suite dans les protubérances la chaleur réparatrice, et rendant impossibles de la sorte ces grandes différences de température, qui seules pourraient causer ces ouragans terribles dont, en dépit de la stratification durable de l'atmosphère solaire et en dépit aussi de la stratification des ouragans eux mêmes (37—38), une hypothèse de lèse-majesté suppose troublée l'imposante tranquillité de la masse solaire.

Si j'ai cru devoir dire déjà ici un mot des Principes astrochimiques de ma théorie nouvelle c'est parce que je voulais faire ressortir tout d'abord que si ces Principes sont justes, ils ne sont pas seulement applicables au soleil mais évidemment aussi à tous les autres corps gazeux incandescents célestes.

La Théorie du Soleil, que j'ai l'honneur de publier aujourd'hui, n'est par conséquent qu'une Première Partie d'une théorie beaucoup plus générale. La deuxième Partie contiendra ma théorie des Étoiles et des Nébuleuses; la troisième ma théorie des Comètes. Les dernières Parties seront réservées à l'étude des autres corps incandescents célestes et finalement à l'application des principes astrochimi-

ques de ma théorie à l'étude de quelques phénomènes encore mal connus de notre chimie terrestre.

Si ma théorie des Étoiles variables, que j'avais déjà complètement développée lorsque je ne pensais pas même encore à appliquer ses principes à l'étude du soleil (e) (58) n'est pas donnée ici en premier lieu, c'est parce que dans les Étoiles variables les phénomènes que ma théorie explique n'ont pas toute la précision désirée.

Le soleil est pour ma théorie la pierre de touche véritable (f). Il nous présente en effet des phénomènes nettement précisés. Or un grand nombre de ces phénomènes sont prévus par ma théorie, quelquefois même jusque dans leurs moindres détails ; et ces détails alors ne concernent pas seulement chaque phénomène en particulier, mais aussi leurs relations locales mutuelles à tout moment donné et leurs changements périodiques dans le cours des années. Il y a aussi quelques phénomènes solaires, et même aussi quelques phénomènes terrestres, qui complètement prévus par ma théorie, mais pas encore connus ou suffisamment observés lorsqu'en 1888 je publiai mon dernier Essai, ont été étudiés depuis (66, 85, 114, 118—122, 172, 210). Ces études récentes ont donné à ma théorie un nouvel appui et elles contribueront ainsi, j'espère, à lui donner cet „aspect saisissant”, qui, d'après Secchi, est si difficile à trouver „pour convaincre les autres”.

(e) Verklaring van de veranderlijkheid der Roode Sterren, door Dr. A. Brester Jz., 1 Mei 1888.

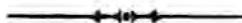
(f) Ma théorie des comètes étant basée sur les mêmes principes que ma théorie du soleil, mais étant beaucoup plus facile à comprendre, j'en donnerai plus bas (195) un court Aperçu lorsqu'à propos de la densité de l'atmosphère du soleil il me faudra dire un mot des comètes.

INTRODUCTION.

PRINCIPES DE MA THÉORIE.

A.

IDÉES, QUI GÉNÉRALEMENT ACCEPTÉES DÉJÀ MAINTENANT
QUANT À LA CONSTITUTION DU SOLEIL, FORMENT
AUSSI LA BASE PRINCIPALE DE MA
THÉORIE DES ASTRES.



1. Le soleil est une masse incandescente gazeuse (*a*), qui doit la blancheur éblouissante de son éclat à une couche sphérique de nuages, que le refroidissement a fait condenser à l'extérieur (*b*). Ces nuages chauffés au blanc, planant dans le gaz solaire moins lumineux lui même en vertu de son état gazeux, forment la *photosphère* (*c*), c'est à dire le disque blanc que nous voyons.

2. Les *taches* du soleil (*d*) sont des trous dans sa photosphère (*e*), des trous, qui semblent relativement obscurs, non seulement parce que les nuages photosphériques y font défaut, mais aussi parce qu'ils sont remplis d'un gaz à absorption énergétique nous enlevant au passage la majeure partie des rayons lumineux, qui des couches plus profondes de l'astre à travers les trous vers nous se dirigent (*f*).

(*a*) Secchi: *Bullettino meteorologico dell'osservatorio del Collegio Romano* 1 gen. 1864 p. 4. — Faye: *Compt. Rend.* LX 1865 — Secchi: *le Soleil* 2^{me} Edit. 1875 I p. 156. — Wilsing: *Astr. Nachr.* N. 3039 (April 1891) p. 249.

(*b*) Wilson: *Phil. Trans.* t. LXIV anno 1774.

(*c*) Schroeter: *Geschichte der Astronomie* v. A. M. Clerke p. 71.

(*d*) Joh. Fabricii *Phrysi de maculis in sole observatis et apparente earum cum sole conversione narratis; Witebergae* 1611.

(*e*) Wilson: *loc. cit.* — Cassini: *Mémoires de l'Acad. d. Sciences* 1720.

(*f*) Norman Lockyer: *Proc. Roy. Soc.* Vol. XV p. 256 (1866) — Young: *Am. Journ. of Science* XXI p. 42 (1883).

3. Les *facules* (*g*) sont des arêtes et des crêtes lumineuses, qui dépassant le niveau général de la photosphère, font quelquefois saillie comme une petite dent lorsqu'elles dépassent le bord du disque (*h*) et se voient le mieux près de ce bord parcequ'en vertu de leur élévation elles subissent moins que la photosphère plus profonde l'action obscurcissante là surtout forte de l'enveloppe gazeuse au travers de laquelle nous les voyons.

4. Cette enveloppe gazeuse de la photosphère est communément désignée comme l'*atmosphère du soleil* (*i*). Ses couches extérieures forment l'*atmosphère coronale* (*j*) qui, quoique principalement composée de gaz incandescents où l'hydrogène et le coronium dominent (*k*), contient aussi une matière condensée en état de réfléchir la lumière du soleil (*l*).

5. Les couches inférieures de l'atmosphère du soleil forment la *chromosphère* (*m*), nappe écarlate relativement mince, d'une hauteur habituelle de 10 à 15 secondes (*n*) où surtout l'hydrogène et l'hélium abondent, et où l'on trouve les autres éléments solaires en nombre d'autant plus grand qu'on examine des couches plus profondes (*o*). Les couches à la base, celles par conséquent, qui touchent à la photosphère, ou y pénètrent jusqu'à une certaine profondeur (*p*), contiennent tous les éléments que d'après la belle théorie de Kirchhoff (*q*) les raies de Fraunhofer (*r*) nous font connaître.

(*g*) Rosa ursina, sive Sol ex admiranda facularum et macularum suarum phœnomeno varius a Christophoro Scheiner, Germano Suevo e societate Jesu (1630).

(*h*) W. Herschel: Phil. Trans. XCI (1801) p. 303.

(*i*) Arago: Ann. du Bur. des longit. pour l'an 1846 p. 464, 471 — Lassell: Monthl. Not. Vol. XII p. 53 — Airy: Mem. R. Astr. Soc. XXI.

(*j*) Janssen: Bibl. Univ. 15 Janv. 1872 p. 103.

(*k*) Harkness: Wash. Obs. 1869 p. 60. — Janssen, Lockyer, Respighi, Herschel, Tennant (Ecl. 1871) — Abney and Schuster (Ecl. 1882) — Young: Am. Journ. of Science XI 3 Ser. p. 429.

(*l*) Liais: l'Espace céleste et la Nature tropicale p. 169 (Ecl. 1858 et 65). — Campbell: Proc. Roy. Soc. Vol. XVII p. 123 (Ecl. 1868) — Janssen, Ecl. 12 Dec. 1871 — Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne p. 203.

(*m*) Lockyer: Phil. Trans. Vol. CLIX p. 430 (1868).

(*n*) Secchi: le Soleil II p. 292.

(*o*) Lockyer: Solar Physics p. 300, 309, 316, 322, 384, 415. — Secchi: le Soleil I p. 275, 278, 279, 293 — Young: Am. Journ. of Science 3 (1872).

(*p*) Young: le Soleil p. 63. — Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne 1890 p. 194, 196.

(*q*) Kirchhoff: Monatsber. d. Berl. Ak. 1859 p. 664: Abhandl. d. Berl. Ak. 1861 p. 80; 1861 p. 77: Ann. d. Physik 119 p. 275.

(*r*) Fraunhofer: Denkschriften der Kon. Acad. d. Wissensch. zu München 1814—15 V, p. 193—226.

On les distingue communément des couches plus élevées de la chromosphère en les nommant la *couche renversante* (s).

6. Les *protubérances* sont les endroits où passagèrement l'atmosphère solaire nous montre une luminosité blanchâtre, rougeâtre ou fleur de pêcher plus vive que de coutume (t). Examinées au spectroscopie elles font voir les raies brillantes des éléments ordinaires de l'atmosphère solaire, celles surtout de l'hydrogène et de l'hélium; et il n'y a donc aucun doute qu'elles soient essentiellement composées de gaz incandescents (u).

7. En terminant ici ce court Aperçu des idées déjà anciennes, qui forment la base principale de ma théorie nouvelle, on verra sans peine que ma théorie adopte la presque-totalité des idées principales généralement admises aujourd'hui quant à la constitution du soleil. Parmi ces idées principales, généralement adoptées il n'y en a qu'une seule que ma théorie rejette, c'est celle des bouleversements solaires.

B.

PRINCIPES ASTROCHIMIQUES NOUVEAUX.

8. PRINCIPE I: TOUS LES CORPS INCANDESCENTS CÉLESTES SONT TRANQUILLES EN RUX MÊMES, ET LEUR CALME INTERIEUR EST TEL, QUE LEURS MOLÉCULES DIFFÉREMMENT LOURDES, TRIÉES PAR LA GRAVITATION EN SPHÈRES CONCENTRIQUES NE PERDENT JAMAIS LEUR STRATIFICATION.

§ 1.

Le gaz solaire nous montrant ses éléments invariablement stratifiés et rangés en général d'après leur poids spécifique est par conséquent tranquille en lui même.

9. S'il est une vérité que le spectroscopie a bien et dûment

(s) Young: Mem. R. A. Soc. Vol. XLI p. 435 (1870) — M. Lockyer n'admet pas l'existence de cette couche renversante: Chemistry of the Sun p. 303.

(t) Arago: Ann. 1846 p. 460 — Liais: l'Espace céleste p. 55 — Littrow: Solar Physics, Lockyer p. 108 — Tacchini: Rapporti dell' eclisse del 1870, tav. V — Secchi: le Soleil II p. 79, I p. 373.

(u) Janssen, Tennant, Pogson, Rayet, Herschel: Ecl. de l'an 1868 Ann. du bureau des longit. 1869 p. 584: Compt. Rendus LXVII p. 757: Proc. Roy. Soc. Vol. XVII p. 116.

démontrée, c'est que *dans le gaz solaire les éléments se trouvent invariablement rangés en couches superposées*. Ces éléments augmentent généralement en poids moléculaire avec la profondeur (27). C'est ainsi que tout à fait à l'extérieur nous trouvons la substance encore inconnue, le coronium (1474, Kirchhoff). Là apparaît aussi l'hydrogène, viennent plus bas l'hélium et puis le calcium, le sodium et le magnésium; plus bas encore se montrent des raies du fer, du nikkél, du barium etc. Et parmi les substances plus lourdes, dont l'existence est indiquée par les raies obscures de Fraunhofer, ce sont justement les plus légères qu'on observe le plus facilement. C'est ainsi par exemple que les éléments tout récemment nommés par M. Young, comme étant seuls clairement indiqués dans le spectre solaire (*v*) se trouvent tous, à l'exception du barium et du platine dans les trois séries supérieures de la table de Mendeleef.

10. Il est inutile de citer les différents auteurs, qui ont constaté cette structure stratifiée (5). Tous les astrophysiciens y réfèrent à tout moment. M. Lockyer décrit les différentes couches de l'atmosphère solaire comme superposées à la manière des pelures d'un oignon (*w*). Lui et Secchi ont constaté cette stratification évidente jusque dans les profondeurs des taches (*x*).

11. Tandis que la plupart des astronomes considèrent cette stratification comme uniquement due à la pesanteur, les vapeurs s'élevant à des hauteurs d'autant plus considérables qu'elles sont plus légères (*y*), M. Lockyer n'y voit que l'effet de la diminution de la température dans les couches superposées, diminution, qui doit donner en effet à chaque couche la composition spéciale, qui y est seule compatible avec sa température spéciale aussi (*z*).

12. Il y a dans cette hypothèse bien connue de l'illustre astronome anglais une idée éminemment féconde, qui est aussi une idée

(v) Young: Elements of Astron. 1890 p. 137.

(w) Lockyer: the Chemistry of the Sun p. 304. A la page 169 du livre cité M. Lockyer donne une figure où la superposition des principes différemment lourds de l'atmosphère solaire est représentée. — Voir aussi Stoney: Monthl. Not. Vol. 28; On the solar Ecl. Aug. 1868.

(x) Secchi: le Soleil I p. 293.

(y) Secchi: le Soleil I p. 275, 278, 279 et 293. II p. 292, 482: «Au dessus de la couche lumineuse qui constitue la limite apparente de l'astre se répand l'atmosphère formée de vapeurs transparentes, qui s'élèvent selon leurs poids spécifiques à différentes hauteurs. De toutes ces substances, l'hydrogène est une des moins denses; aussi flotte-t-elle à une grande hauteur...»

(z) Lockyer: loc. cit. p. 304.

principale de ma théorie. C'est l'idée que dans les couches solaires mainte matière (voire même mainte matière quasi-élémentaire de notre chimie terrestre) se montrera d'autant plus dissociée qu'elle se trouvera dans une couche plus profonde.

13. Mais cette idée féconde, que M. Lockyer a si bien réussi à rendre plausible, quelque propre qu'elle soit à rendre compte d'une structure stratifiée, est cependant complètement impuissante à expliquer à *elle seule* la stratification très particulière que nous fait voir le soleil. La stratification solaire n'est pas celle qui répond simplement à l'idée de M. Lockyer ; elle en est même à peu près l'inverse. *La stratification solaire est due en premier lieu à la gravitation.* C'est ce que je vais tâcher d'expliquer maintenant.

14. Remarquons d'abord que l'application exclusive de l'idée de M. Lockyer n'explique nullement pourquoi dans les couches solaires les vapeurs que l'analyse spectrale y révèle sont superposées *principalement dans l'ordre de leur densité* et augmentent généralement en poids moléculaire avec la profondeur. En tant que l'hypothèse de M. Lockyer paraît prévoir une différence dans la densité des molécules superposées, elle semble demander au contraire que les molécules les plus dissociées et partant les plus légères se trouvassent dans les couches plus profondes et les molécules moins dissociées et partant plus lourdes dans les couches refroidies extérieures.

15. L'hypothèse de M. Lockyer est en discordance aussi avec la particularité capitale que l'atmosphère solaire, au lieu de paraître dans ses couches extérieures de plus en plus riche en substances qui nous sont familières, y finit au contraire à ne montrer distinctement outre de l'hydrogène que de l'hélium et du coronium, éléments dont nous ne savons rien et dont la présence à la périphérie, parfaitement compréhensible, dès que nous admettons que ces éléments sont plus légers que tous les autres, est complètement mystérieuse si, avec M. Lockyer, nous admettons que la composition des couches ne dépend que de leur température.

16. Afin de bien faire comprendre combien cette hypothèse de M. Lockyer est en discordance avec les observations, nous examinerons ici quelle est la place que cette hypothèse assigne au fer dans l'atmosphère solaire. Le fer n'est pas là, dit M. Lockyer, où l'analyse spectrale ne nous révèle que les quelques raies ferriques, que nous fait voir la chromosphère. Il n'est pas là non plus, dit-il, où d'autres raies ferriques se montrent dans le niveau plus profond de la photosphère. Dans ces deux niveaux la température est trop haute pour que le fer non dissocié y puisse exister. Les deux spectres ferriques différents qu'on y observe prouvent tout simplement

qu'en vertu de la différence de température le fer y est aussi différemment dissocié (137, 144 etc.) (a).

17. Jusque là M. Lockyer n'affirme rien qui ne soit très possible et admissible même sans difficulté. Mais lorsqu'après nous avoir expliqué où le fer n'est pas, il tache de nous faire voir où le fer est bien, il devient bien difficile de rester d'accord avec lui. M. Lockyer raisonne ainsi: Si le fer non dissocié n'existe pas dans les niveaux photosphérique et chromosphérique, et si la température trop élevée en est la cause, alors le fer non dissocié doit bien exister dans les couches plus élevées, où la température est évidemment plus basse (b).

18. Ce raisonnement n'est pas convaincant. Car les prémisses de M. Lockyer ne peuvent nous apprendre que le fer *doit exister* dans les couches plus élevées de l'atmosphère solaire, elles ne nous apprennent que le fer non dissocié y *pourrait exister*, et n'excluent nullement la possibilité que dans ces couches plus élevées le fer fasse complètement défaut. Or l'existence du fer dans ces couches sera impossible si dans ces couches, où le fer pourrait exister, il y a absence de principes ferriques.

19. M. Lockyer cependant ne s'arrête pas à cette objection et ne tenant compte non plus de *l'absence des raies ferriques* dans le spectre des régions supérieures de l'atmosphère solaire, il suppose cette atmosphère comme entièrement remplie de vapeurs ferriques et comme même tellement chargée de ces vapeurs qu'incessamment il en tomberait des torrents diluviens de métal fondu, torrents, qui dissociés et évaporés de nouveau dans les couches plus profondes, y seraient l'instrument principal du mécanisme compliqué, au moyen duquel M. Lockyer s'efforce d'expliquer les protubérances et les taches (41 a) (c). L'hypothèse déjà logiquement mal fondée se mon-

(a) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 307, 326 etc.

(b) Lockyer: loc. cit. p. 308, 309, 422. "If the terrestrial elements exist at all in the sun's atmosphere they are in process of ultimate formation in the cooler parts of it. . . . The germs of iron are distributed among the various strata according to their heat resisting properties, the most complex nearest the outside of the atmosphere at L, the least complex in the lower stratum at A. Whatever process of evolution be imagined, as the temp. runs down from A to L, whether A, 2A, 4A; or A + B, 2(A + B); or A + B + C; the formed material or final product is the work of the successive associations rendered possible by the gradually lowering temp. of the successive strata and can therefore only exist at L." (loc. cit. p. 308—309).

(c) Lockyer: loc. cit. p. 422, etc. Si, comme le suppose M. Lockyer, les taches sont dues à la chute de masses énormes de matière refroidie, dont la vapeur causerait l'absorption observée dans les taches, il est clair que ces masses devraient contenir des quantités énormes de fer. Car parmi les raies qu'on voit renforcées dans

tre ici en contradiction avec la réalité. Il est impossible en effet d'admettre que l'atmosphère du soleil étant remplie de vapeurs ferriques, ces vapeurs ne donnassent à l'analyse spectrale aucune preuve évidente de leur existence. On conçoit à la rigueur qu'une vapeur quelconque échappe à l'observation spectrale. Mais cela n'aura lieu que lorsque cette vapeur sera en quantité trop petite ou à une température insuffisante.

20. Tel ne peut être le cas du fer supposé dans l'atmosphère solaire. Car dans l'appareil distillatoire à condensation continue en torrents diluviens de métal fondu, qu'y suppose installé M. Lockyer, ni la masse ni la température ne font assurément défaut. D'après M. Lockyer le fer ne commence sa chute que dans les couches extérieures de l'atmosphère solaire. De là, dit-il, l'accélération des taches équatoriales (*d*). Or si le fer tombe sans cesse de ces couches extérieures, il doit premièrement s'y reformer aussi sans cesse par l'association de ses différents principes suffisamment refroidis (*e*). Ces principes ferriques doivent donc s'élever jusqu'à la hauteur immense où d'après M. Lockyer le fer doit naître. Comment alors se fait-il, qu'à partir des couches chromosphériques, ces masses énormes de principes ferriques gazeux ne donnent à l'analyse spectrale aucune preuve évidente de leur existence? Pourquoi ne les voit-on clairement, ni dans les protubérances quiescentes ni même dans les protubérances, que M. Lockyer a nommées „eruptives”, ailleurs qu'à la base (30, 31, 37)? Toutes ces vapeurs ferriques seraient-elles impuissantes à produire des raies ferriques, alors que l'humble flamme de Bessemer nous fait voir ces raies très distinctement! (*f*). Cette flamme n'est pourtant pas plus chaude que l'atmosphère du soleil! Si cependant dans les confins de la couronne la température était réellement trop basse pour y produire des raies ferriques, alors entre ces couches à température *trop basse* et celles de la chromosphère à température *trop haute* il devrait exister des couches où la température intermédiaire serait celle de la flamme Bessemer. Or, si même dans ces couches à température évidemment suffisante les raies du fer ne se produisent pas; si les raies que M. Lockyer a

les taches, celles du fer se distinguent particulièrement (Vogel: Bothkamper Beob. Bd. I u II — Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne p. 189) Aussi M. Lockyer, en calculant le volume du gaz, qui résulterait d'un milliard de Kilogr. de matière s'évaporant et se dissociant au niveau photosphérique, choisit-il la disagrégation du fer comme exemple. (Lockyer: loc. cit. p. 422).

(*d*) Lockyer: loc. cit. p. 424—428.

(*e*) Lockyer: loc. cit. p. 308.

(*f*) Roscoe: Die Spectralanalyse von Roscoe und Schuster 1890 p. 186, 204.

désignées comme „longues” et que dans ses expériences nombreuses il a vues persister le plus longtemps lorsque la raréfaction augmenta (g) ne se montrent même pas, j'en conclus que *dans ces couches où les éléments légers se montrent si clairement le fer n'existe pas en quantité notable (h).*

21. Bien que la puissance de l'analyse spectrale ait été le plus souvent énormément surtaxée (177—194), cette analyse n'est pas à ce degré impuissante qu'une masse de vapeur de fer capable de remplir une atmosphère solaire entière puisse échapper à ses indications ! Ne nous a-t-elle pas fait connaître la composition chimique de la masse infiniment raréfiée des comètes et révélé la présence du fer lui-même dans la grande comète de 1882 ! Cette comète, dont la masse était tellement raréfiée, qu'en passant devant le soleil son noyau même ne montra trace de son passage, a fait voir en effet à M.M. Copeland et Lohse cinq raies évidentes du spectre du fer (i).

22. L'hypothèse de M. Lockyer que la composition chimique des couches superposées solaires ne dépendrait que de leur température seulement est donc en contradiction flagrante avec les observations spectrales. Car là où d'après cette hypothèse le fer par exemple devrait exister, l'analyse spectrale prouve clairement que le fer n'existe pas. J'ai déjà expliqué plus haut (18) où est la faute dans le raisonnement de M. Lockyer. Cette faute n'est pas dans l'idée excellente que la composition chimique d'une couche solaire dépend de sa température, mais dans l'hypothèse additionnelle que cette composition ne dépendrait que de cette température seulement. Or cette hypothèse [additionnelle est insoutenable, car il n'y a pas de température, qui puisse créer une molécule là où les atomes qui doivent y entrer font défaut.

23. L'unique moyen de concilier l'idée féconde de M. Lockyer et ses propres observations spectrales avec les données de la science des autres, c'est d'admettre que *dans les couches extérieures du soleil les métaux les plus lourds de notre chimie terrestre ne se montrent*

(g) Lockyer: loc. cit. p. 150.

(h) Telle est aussi l'opinion de M. Young, qui, à propos de la méprise de Kirchhoff et Angström quant à l'identification de la raie coronale avec une raie du spectre du fer, déclare expressément „qu'il est assez difficile que la vapeur de ce métal puisse être réellement un des principaux éléments de la chromosphère”. Young: le Soleil p. 187.

(i) Copeland und Lohse: Copern. Vol. II p. 235 — Clerke: Gesch. d. Astron. p. 440 — Lockyer: Nature Aug. 7, 1890 p. 343 — Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne 1890 p. 240 — Lockyer: The Meteoritic hypothesis, p. 193.

jamais parce que les principes élémentaires de ces métaux, qu'on ne voit jamais que dissociés dans les couches plus profondes ne s'élèvent jamais à la hauteur où la température moins énorme ne ferait plus obstacle à leur association en métaux. Ces métaux les plus lourds n'existent donc pas encore dans l'économie solaire ; ils n'y sont représentés encore que par des principes plus élémentaires qu'on trouve dans la profondeur.

24. Or si dans le soleil ce ne sont pas les éléments actuels de notre chimie terrestre qui existent, mais leurs principes plus élémentaires seulement, alors *ce seront ces principes qu'on verra triés en couches superposées* et l'on trouvera alors que les principes différents d'un même élément cherché en vain dans les couches extérieures ne se montreront pas tous à la fois dans une couche plus profonde, mais s'y montreront (à partir de la couche où le principe le plus léger ou le plus abondant sera seul à faire son apparence) en nombre d'autant plus grand que dans la profondeur des principes plus lourds ou moins abondants viendront s'ajouter aux principes déjà trouvés plus haut.

25. Telle est d'après ma théorie la stratification solaire. Et en effet, si elle est telle, toutes les observations spectrales des couches superposées solaires, et celles surtout, qu'a faites M. Lockyer, s'expliquent aisément. Car si le fer par exemple n'existe pas dans les couches extérieures du soleil et n'est représenté dans les couches plus profondes que par ses principes plus élémentaires, triés par la gravitation en couches concentriques, alors on comprend tout de suite 1^o pourquoi dans les trois spectres coronal, chromosphérique et photosphérique les raies du fer sont respectivement à peu près absentes, peu nombreuses et à compter par centaines (*j*) 2^o comment il se fait que quelquefois certaines raies du fer puissent montrer un déplacement accidentel, alors *qu'en même temps* d'autres raies du même métal ne révèlent aucune perturbation ou en révèlent une toute autre (*k*) et 3^o pourquoi la vitesse angulaire que M. Crew a déduite du déplacement de certaines raies ferriques produites dans l'atmosphère solaire (*l*) diffère de celle que M. Duner a découverte en mesurant le déplacement d'autres raies ferriques évidemment produites dans des couches photosphériques plus profondes (*m*) (95—100).

(*j*) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 326—350.

(*k*) Lockyer: loc. cit. p. 314, 347—353 etc. — Young: le Soleil p. 77.

(*l*) H. Crew: Amer. Journ. of Science, 35, p. 159 and Sept. 1889 p. 204. Period of Rotation of the Sun.

(*m*) Duner: Astr. Nachr. N^o. 2968 (1890). Sur la rotation du soleil.

26. Interprétées de la sorte les nombreuses observations de M. Lockyer se montrent en concordance parfaite avec toutes les autres observations solaires et elles procurent ainsi à son hypothèse féconde de la dissociation solaire un appui solide, que leur interprétation première ne pouvait pas donner.

27. Il résulte de toutes les considérations précédentes que, quelque évidente que soit la vérité que la composition d'une couche solaire doit dépendre de sa température, cette température n'est pas la circonstance unique dont cette composition dépend. Cette composition dépendra en premier lieu des principes élémentaires, dont une couche quelconque se compose. Or ce sont ces principes élémentaires que l'analyse spectrale nous montre conservant toujours leur stratification invariable et ne sortant jamais de la sphère, qui doit répondre au poids et au nombre de leurs molécules respectives. *La stratification solaire est donc due en premier lieu à la gravitation (n),* et ce ne sera qu'en second lieu, que par l'effet d'un refroidissement éventuel de la masse solaire, les molécules triées par la gravitation en sphères concentriques, s'associeront en molécules plus complexes,

(n) Si la stratification solaire est due en premier lieu à la gravitation elle nous montrera bien *en général* les éléments les plus lourds ensevelis dans la profondeur; mais il n'est pas nécessaire du tout que l'ordre dans lequel les éléments se trouvent superposés soit toujours exactement celui de leurs poids spécifiques. *Car la hauteur où seront encore visibles les molécules d'une matière quelconque ne dépendra pas uniquement de leur poids mais de leur nombre aussi.* — Il résulte d'ailleurs des considérations étudiées dans ce paragraphe qu'il est fort bien possible aussi qu'une raie spectrale solaire, sûrement identifiée avec celle d'un élément terrestre, ne désigne en réalité qu'un principe plus léger de cet élément pas encore formé (23). Tel est peut-être le cas des raies du calcium que l'atmosphère solaire fait voir à de grandes hauteurs lorsqu'on en photographie le spectre. (Deslandres: Compt. Rend. Séances du 24 Août 1891 et du 8 Février 1892. La dissociation du calcium en deux principes x et y produisant respectivement les raies H et K du spectre solaire et existant isolément dans les astres (Sirius par exemple ne nous faisant voir que le principe x) cette dissociation solaire du calcium M. Lockyer l'a rendue bien plausible. (Chem. of the Sun, p. 244—250). Si cependant elle n'avait pas lieu, alors il faudrait attribuer à une abondance exceptionnelle de calcium l'élévation de ce métal dans l'atmosphère solaire, élévation expliquant alors aussi le renversement habituel des raies H et K dans le spectre des taches et l'obscurité exceptionnelle de ces raies dans le spectre général du soleil. (Chem. of the Sun, p. 353: "In photographs of sun-spot spectra the H and K lines are almost always photographed as bright lines over the spectrum of the umbra" loc. cit. p. 195 "To sum up the facts regarding calcium, we have first of all the H and K lines differentiated from the others by their greater frequency in prominences, their brightening in spots, and their enormous thickness in the general spectrum of the sun") — Il est clair d'ailleurs qu'en appliquant la photographie à l'analyse spectrale les matières se montreront d'autant plus haut dans l'atmosphère solaire que, ceteris paribus, leurs raies principales seront plus refringibles et chimiquement plus actives par conséquent (125).

molécules dont la composition chimique ne dépendra qu'en second lieu par conséquent de la température, mais dépendra en premier lieu du poids moléculaire des principes que la gravitation aura réunis dans la couche solaire où ces molécules plus complexes auront été formées.

28. *Or une structure stratifiée comme celle, que nous venons d'étudier dans la masse gazeuse solaire, où les molécules différentes ne sortent jamais de la sphère que la gravitation leur a assignée, ne se conçoit que dans un gaz absolument tranquille.* Là elle est prévue aussi par la belle théorie cinétique des gaz. Car la matière gazeuse des astres n'étant pas retenue par une paroi, ses molécules ne peuvent se mouvoir d'une manière aussi désordonnée que dans les récipients de nos laboratoires, où il y a toujours une paroi repoussant sans cesse pêle-mêle les molécules gazeuses qu'elle renferme. Dans les astres le mouvement centrifuge des molécules n'est limité faute de paroi que par la gravitation; les molécules les plus légères s'éloigneront donc le plus et les autres molécules resteront d'autant plus près du centre que leur poids sera plus grand. Chaque élément y aura donc une sphère, qui lui est propre, et hors de laquelle les impulsions réciproques des molécules ne pourront le pousser pour la même raison qui empêche l'élément tout à fait extérieur à être poussé dans le vide.

29. Une structure gazeuse stratifiée, comme celle que nous montre invariablement le soleil, peut donc être considérée à bon droit comme une preuve évidente d'un calme intérieur bien grand. D'après toutes les données de la physique et de la météorologie terrestres, cette structure stratifiée est en tout cas absolument incompatible avec les cyclones et les éruptions phantastiques dont les astronomes d'aujourd'hui se plaisent à voir tourmenté sans cesse le gaz solaire. Elle est même déjà tout aussi incompatible avec des courants des milliers de fois moins considérables, tels que ceux qui remuant notre propre atmosphère, y suffisent déjà complètement, comme on sait, pour empêcher la moindre stratification.

§ 2.

Les protubérances du soleil, même lorsqu'elles ont l'apparence d'éruptions formidables, n'indiquent cependant aucun déplacement matériel.

30. Les protubérances, celles du moins que M. Lockyer a nommées „éruptives”, ressemblent bien quelquefois à des éruptions

effrayantes ou à des explosions terribles, mais cette ressemblance n'est alors qu'une apparence trompeuse. Car éternellement à l'œuvre et impuissantes néanmoins à déranger le moins du monde la stratification des molécules gazeuses, qu'elles traversent, et à transporter par exemple dans les couches élevées, que toujours elles atteignent, les vapeurs ferriques, qui planent à leur base (37, 38) *il est impossible qu'elles soient des masses violemment agitées*. Leurs mouvements rapides et leurs changements de forme ne peuvent être causés par le déplacement de la matière lumineuse elle-même. *Ils doivent être causés* (comme marche le feu dans une mèche) *par le déplacement de l'état lumineux dans la matière tranquille* (150—153).

31. Comment concevoir en effet que des masses d'air, telles que celle qui recouvre l'Europe entière, seraient lancées dans l'atmosphère solaire pour y atteindre *déjà dans la première seconde* une hauteur cent fois plus haute que le Mt. Blanc, sans que cette atmosphère *tout partout et sans cesse* tourmentée par ces déplacements fabuleux ne perdît au moins sa structure stratifiée! Je dis „tout partout et sans cesse” parce que d'après les observations de Secchi, durant une période de maximum, 200 centres d'éruptions au moins seraient *constamment* en pleine activité sur la surface du soleil (o).

32. Il est d'autant moins compréhensible que l'idée de ces éruptions prodigieuses ait été si facilement et si généralement produite par l'apparence trompeuse, qu'ont souvent les protubérances que M. Lockyer a nommées éruptives, que beaucoup de protubérances ont au contraire des apparences complètement incompatibles avec cette idée phantastique. Ce sont ces protubérances très nombreuses, déjà nommées „quiescentes”, qui planant comme des nuages dans les régions supérieures de l'atmosphère solaire s'y allument et s'y éteignent quelquefois sur place sans qu'aucun lien les relie à la chromosphère éloignée.

33. Ces *protubérances quiescentes* sont tellement nombreuses, que ce sont elles justement, qui ont le premier attiré l'attention des astronomes sur les protubérances en général. Cela est arrivé durant l'éclipse totale de 1733. Wassénius décrit les protubérances qu'il vit alors comme quatre nuages rosâtres flottant dans une atmosphère, qu'il croyait être celle de la lune, et il ajoute expressément que „ces

(o) Secchi: le Soleil II, p. 70. — Young: le Soleil, p. 147: „Le nombre des protubérances est indéfiniment grand. Lorsqu'on l'observe directement à travers la lunette, le soleil apparaît entouré de flammes, dont le nombre est trop élevé pour qu'on puisse les compter”. La hauteur des protubérances est quelquefois énorme. M. Young en a observé une mesurant plus de 13 minutes (le rayon du soleil en mesurant 16) Lockyer: Chem. of the Sun p. 417 — Young: Nature, Nov. 25, 1886, Ten years Progress in Astronomy.

quatre nuages étaient entièrement séparés du limbe de la lune" (p).

34. On considère généralement les protubérances quiescentes, dit M. Young (q) „comme les débris et les restes d'éruptions, composés de gaz, qui ont été rejetés de dessous la surface solaire, puis „abandonnés à l'action de courants de l'atmosphère supérieure du „soleil. Mais près des pôles du soleil les protubérances nettement „éruptives ne se montrent jamais, et il n'y a aucun indice de courants „aériens pouvant transporter dans ces régions des matières rejetées „plus près de l'équateur solaire. *Même toute l'apparence de ces objets „indique qu'ils prennent naissance où nous les voyons.*"

35. Secchi (r) Trouvelot (s) et Young (t) ont longuement décrit l'histoire de ces protubérances quiescentes. Secchi a vu „de „petits nuages isolés se former et croître spontanément sans rapport „visible avec la chromosphère ou d'autres masses d'hydrogène, absolument comme dans notre atmosphère des nuages sont formés par „la vapeur d'eau, existant déjà dans l'air, mais à l'état latent, jusqu'à „ce qu'un refroidissement local ou un changement de pression détermine sa condensation. *Ces protubérances, dit M. Young, sont donc „formées par un échauffement local ou par quelque autre agitation „lumineuse de l'hydrogène déjà présent, et non par un transport et „une réunion de matières prises au loin.*" (u). M. Young a vu une protubérance, qui apparue comme un petit nuage brillant à une hauteur de 67500 milles, sans qu'aucun lien la reliât à la chromosphère éloignée, s'était convertie, quelques heures plus tard dans une

(p) Phil. Transact: t. 38, p. 135, — Secchi: le Soleil I, p. 372.

(q) Young: le Soleil, p. 163.

(r) Secchi: le Soleil II, p. 51.

(s) Trouvelot: Amer. Journ. of Sc. Vol. XV, p. 85.

(t) Young: le Soleil, p. 166, — Secchi: le Soleil II, p. 97, 148.

(u) Young: le Soleil p. 166. — Secchi: le Soleil II, p. 151: „Les protubérances „que l'on observe aux latitudes élevées, en dehors de la région des taches, ne sont „pour la plupart que de simples expansions filamenteuses de la chromosphère; elles „ne sont pas dues, comme celles, qui se produisent dans le voisinage des taches, à „de véritables éruptions de vapeurs métalliques venant de l'intérieur de la masse solaire. Leur présence commence à se manifester à la limite des zones royales, là où „commencent les granulations moins vives à la surface de l'astre" — Lockyer: Chem. of the Sun p. 415: „These quiet prominences are built up entirely of hydrogen. „When I say „quiet" it must be understood that the word is a relative one. I have „seen a quiet prominence as big as a dozen earths born and die in an hour. That „is not at all an uncommon thing. *And there are several facts which indicate that „when such a prominence disappears, it does not mean that the stuff disappears; it means „that it changes its state, that is to say, it chiefly changes its temperature.*" C'est moi, qui ai souligné ici les mots de M. Lockyer.

protubérance ordinaire en forme de tige, dans un objet par conséquent où le caractère trompeur d'une apparence éruptive avait été surpris par M. Young en *flagrant délit*.

36. Mais ce ne sont pas seulement les phénomènes, que nous présentent les protubérances quiescentes, qui s'opposent à l'idée d'éruptions matérielles; les protubérances éruptives elles-mêmes présentent aussi plusieurs particularités qui, tout comme la stratification durable de l'atmosphère qu'elles traversent, démontrent clairement leur caractère trompeur. Parmi ces particularités, il y en a cinq que je nommerai :

37. 1^o *La stratification des protubérances elles-mêmes*, qui ne nous montrant au sommet que les raies de l'hydrogène et de l'hélium et quelquefois aussi les raies du sodium, du magnésium et du calcium (125) et ne nous faisant observer leurs raies métalliques nombreuses, si elles en ont, que près de leur base (*v*) répondent comme cela bien mal, ce me semble, à l'idée d'une masse gazeuse lancée en quelques minutes des profondeurs de la photosphère à des centaines de millions de mètres de hauteur. Il est impossible d'admettre que dans de pareilles éruptions la gravitation empêchât les vapeurs métalliques de s'élever plus haut qu'une minute d'arc (*w*) alors que l'hydrogène et l'hélium, continuant à être jetés dehors, continueraient seuls leur mouvement ascensionnel et atteigneraient ainsi bien vite une hauteur fabuleuse que Secchi et Young ont trouvée quelquefois égale au quart du diamètre solaire (31) (*x*).

38. M. Fenyi en décrivant une protubérance considérable, qu'il vit en quelques minutes s'élancer jusqu'à une hauteur de 155 secondes (*y*) dit bien que la protubérance contenait des vapeurs de sodium, de barium et de fer, mais il remarque expressément „que ces vapeurs semblaient constituer le noyau de la protubérance dans sa partie inférieure.” Il est vrai qu'il ajoute que „ces métaux ne se trouvaient pas seulement au fond mais encore à une hauteur notable”. Mais comme il n'a pas noté cette „hauteur notable” il est permis de douter que dans la „partie inférieure de la protubérance” cette hauteur ait été très grande. — Secchi fait remarquer d'ailleurs

(*v*) Secchi, le Soleil II, p. 97, 148. — Young, le Soleil p. 166.

(*w*) Secchi, le Soleil II, p. 148.

(*x*) Young, le Soleil p. 162, Nature Nov. 25, 1886 p. 87 — Secchi, le Soleil II, p. 54.

(*y*) Deux Eruptions observées sur le Soleil en Sept. 1888 par le R. P. Fenyi Compt. Rend. 1889 CXIII p. 889. — Naturw. Rundschau 13 Juli 1889.

qu'une grande richesse en vapeurs métalliques s'observe ordinairement dans les petites éruptions (*z*).

39. 2° *La courte durée des protubérances*, leurs changements de forme soudains, leur extinction subite en 2 minutes quelquefois et le calme parfait, qu'on voit régner dans l'atmosphère solaire aux endroits mêmes, où quelques minutes auparavant l'épouvantable éruption aurait sévi. (*a*) Secchi, Zöllner et M. M. Young et Lockyer ont donné mainte description de ces „dissolving view's" solaires (*b*). La rapidité de ces *changements à vue* est telle que Secchi lui-même, après les avoir décrits, ajoute : „Les masses nébuleuses (des protubérances) s'illuminent avec tant de rapidité, elles se dissolvent ensuite en si peu de temps, que l'on est porté à voir là une transformation momentanée plutôt qu'un transport réel de matière pondérable" (*c*). 3° Les *directions et les formes souvent bizarres* des jets lumineux. Souvent ces jets ont des formes élégamment recourbées, comme celle par exemple d'une spirale à axe horizontal „où il semble qu'on voie rebondir la matière lumineuse, qui tendait à „retomber" (*d*). Si dans l'élégance de la courbure de ces protubérances enroulées, qui ressemblent aux volutes d'une colonne ionique, il est difficile de voir l'effet d'une éruption ou d'une explosion quelconques, il n'est pas plus facile de voir un tel effet dans les difformités et les entortillages des jets lumineux, que font remarquer beaucoup d'autres protubérances (*e*), jets ressemblant plutôt à des décharges électriques, telles qu'on voit reproduites sur les épreuves photographiques de l'éclair. Il semble de même très difficile à comprendre que le jet lumineux soit chassé si souvent hors de la photosphère en direction plus ou moins tangentielle (*f*).

(*z*) Secchi: le Soleil II, p. 149.

(*a*) Fenyi: Compt. Rend. 1889, 108 p. 889. — Trouvelot: l'Astr. Vol. IV p. 441. Lockyer: Chem. of the Sun p. 415.

(*b*) Secchi: le Soleil II Pl. E fig. 5, 6. Pl. H fig. 1, 3, 5, 7, 9, 11. — Young: le Soleil fig. 61, 62 — Lockyer: Solar Physics fig. 92, 93; 135, 136 — Goldschmidt: Astr. Nachr. N°. 1340. Die totale Sonnenfinsternis von Juli 1860 — Zöllner: Spectralanalyse v. Roscoe 1890, p. 240, 272 fig. 3, 6, 10. „In diesen drei Figuren sind die verschiedenen Gestalten dargestellt, welche ein und dieselbe Protuberanz nach den darunter in mittlerer Zeit angegebenen Intervallen annahm Eins der merkwürdigsten Gebilde war die zweite in fig. 2 dargestellte Protuberanz. Ich traute meine Augen kaum, als ich an derselben die züngelnde Bewegung einer Flamme wahrnahm".

(*c*) Secchi: le Soleil II p. 108.

(*d*) Secchi: le Soleil II p. 62 fig. 171, 172.

(*e*) Lockyer: Solar Physics, fig. 92, 93.

(*f*) Young: le Soleil, fig. 49, 51, 60 — Secchi: le Soleil II Pl. G. fig. 11, 12 —

40. 4° *L'énormité des vitesses effrayantes* du mouvement matériel supposé, vitesses que M. M. Lockyer, Young, Secchi, Respighi, Fényi et Trouvelot ont trouvées resp. égales à 163, 300, 370, 800, 1000 et même 3000 kilomètres par seconde (*g*).

41. 5° *L'impossibilité de s'imaginer, quelles bouches à feu, et quelles forces éruptives seraient capables de causer ces déplacements formidables (h)*. C'est au moyen d'un canon monstre chargé de fulmicoton que M. Jules Verne expédie ses voyageurs vers la lune et ce voyage phantastique, beaucoup moins lointain d'ailleurs que ne vont la plupart des protubérances, se conçoit alors plus ou moins. Mais dans le soleil gazeux de tels canons ne sauraient exister. Les taches, au dessus desquelles les protubérances s'élancent, ont bien, il est vrai, quelque ressemblance avec des bouches à feu énormes mais, *comme leurs parois sont faites de nuages*, il est impossible qu'elles aient un pouvoir comprimant suffisant sur les gaz emprisonnés, pour expliquer toutes ces éruptions fabuleuses, qu'on suppose, éruptions photosphériques, qu'on croit même capables de former quelquefois en 20 minutes (*i*) les rayons de la couronne (*j*). (172, 208).

Lockyer: Solar Phys. p. 268 Pl. 2. Solar Prominences by the Direct. of the Harvard Coll. Obs. — Chem. of the Sun p. 417. «There are indications that these prominences instead of rising vertically, as we may imagine them to do, are at times shot out sideways—almost tangentially”.

(*g*) Secchi: le Soleil II, p. 35 et 77. Secchi: les Etoiles, Constitution physique du soleil p. 109. — M. Young (le Soleil p. 241) s'exprime ainsi: «Dans bien des cas, vraiment, peut-être dans la plupart, les formes et la manière d'être des protubérances s'expliquent assez bien, en supposant que l'hydrogène échauffé et les vapeurs, qui s'y joignent sont simplement chassées dans des régions plus fraîches par la pression du dessous, — pression qui doit résulter du mouvement vers le bas de la grande masse de matières précipitées qui forment la photosphère. Mais évidemment ce n'est pas là tout ce qui a lieu. Nous sommes forcés d'avoir recours à des idées d'un ordre différent pour nous expliquer les cas assez rares mais néanmoins très nombreux et bien prouvés où on a vu les sommets de protubérances monter en quelques minutes jusqu'à des élévations de 2 ou 300,000 milles, le mouvement ascensionnel étant presque visible aux yeux avec la vitesse de 100 milles ou davantage par seconde.”

M. Fényi a tout récemment décrit une protubérance se mouvant avec la vitesse énorme de 1014 kilomètres par seconde. (Compt. Rend. 17 Août 1891. Vitesse énorme d'une protubérance solaire observée le 17 Juin 1891 par M. Jules Fényi).

(*A*) Lockyer: Chem. of the Sun p. 423 — Young, le Soleil p. 169.

(*f*) Young: le Soleil p. 192 — Lockyer: Solar Physics p. 294, 377. M. Lockyer, tout en rejetant l'origine quasi volcanique des protubérances, les décrit comme produites par un «splash”, c'est à dire par la dissociation explosive d'une matière plus condensée, qui tombant d'en haut causerait ainsi en même temps les taches. «The question really is how does a mass of hydrogen, or of what we call as a short title hydrogen, ascending at the rate of 250 miles a second get its initial velocity? In many

42. Je ne veux pas en finir ici avec les protubérances sans dire un mot du seul argument apparemment sérieux, dont s'arment les astronomes pour justifier leur foi inébranlable dans le dogme des bouleversements solaires. Cet argument sérieux ils croyent le trouver dans *le déplacement que montrent souvent les raies spectrales chromosphériques*, déplacement qui, d'après la théorie de Döppler démontrerait „d'une manière certaine que nous avons affaire à des „mouvements actuels et non à un simple changement de place de „la forme lumineuse” (*k*). Mais lorsqu' après avoir fait voir ici *ce que les protubérances ne sont pas*, ma théorie aura expliqué plus loin *ce que les protubérances sont bien*, nous verrons que, bien qu'il soit prouvé qu'un déplacement rapide de la matière lumineuse cause un déplacement dans les raies spectrales, un déplacement pareil doit pouvoir être causé tout aussi bien par le déplacement rapide de l'état lumineux dans la matière tranquille (150—165).

43. Il y a encore un autre argument important nous démontrant la tranquillité intérieure du soleil. C'est *la particularité capitale du soleil qu'en dépit de son état gazeux il nous montre, comme s'il était solide, des zones toujours les mêmes, où se répètent régulièrement des phénomènes toujours les mêmes aussi*. Cette particularité, aisément explicable, comme nous le verrons, dans l'hypothèse d'un globe gazeux tranquille, semble incompatible au contraire avec l'hypothèse d'un globe gazeux éternellement remué par des éruptions terribles. Voilà pourquoi cette particularité capitale n'a jamais été expliquée par les partisans de cette dernière hypothèse, et voilà aussi pourquoi ils ne l'expliqueront jamais. Car ayant inventé ces éruptions

„theories of the solar constitution we have the simple explanation that it has been „squirited out of the solar volcanoes. But it is I think evident that such a view scarcely merits discussion. Where are the volcanoes, and how can they exist in a mass „of gas?” (Chem. of the Sun p. 423) „... a down-rush of cooler materials produced by gravitation must begin the disturbance... such falls of cooled material must take place in different degrees and in greater or less quantity on all parts of the solar surface... this falling material is dissociated in its descent before or when it reaches the photosphere; the particles which descend sparsely and gently will be vaporized gently, and those which descend violently and in great masses will be exploded violently... the effects, in various degree, produced by the falls of associated material must be related to the effects, in like degree, produced by the ascents of dissociated material”. (Chem. of the Sun p. 406—418).

(j) Schaeberle: Nature, May 15 1890. „Schaeberle's investigations seem to prove that the corona is caused by light emitted and reflected from streams of matter ejected from the sun by forces, which in general act along lines normal to the surface”.

(k) Young: le Soleil p. 168.

terribles leur tache ingrate sera toujours de chercher l'ordre dans le chaos.

§ 3.

Le soleil conservant toujours sa tranquillité intérieure, ses couches stratifiées ont une température, qui dans un même niveau est toujours la même en divers endroits voisins et n'éprouve jamais de changement local soudain.

44. Il résulte des considérations précédentes, qui toutes ont fait ressortir la grande tranquillité intérieure du globe solaire, que *dans un même niveau la température est toujours la même en divers endroits voisins*, et que par conséquent dans la photosphère par exemple les taches ont la même température que la photosphère qui les entoure.

45. Car si cette température n'était pas la même des courants ascendants et descendants devraient se produire, bouleversant sans relâche l'atmosphère qu'ils traverseraient. Ce bouleversement n'existant pas, il est donc évident que ces courants n'existent pas non plus et que des différences de température dans un même niveau n'existent pas davantage.

46. Nous voilà bien vite de nouveau en contradiction complète avec les idées généralement acceptées aujourd'hui d'après lesquelles les taches auraient une température beaucoup plus basse que la photosphère qui les entoure. Mais ces idées reposent encore ici sur une interprétation erronée des apparences. Une différence thermométrique des facules et des taches n'a jamais été expérimentalement constatée. Je sais fort bien que M. M. Henry, Secchi, Spoerer et Langley (*l*) ont observé que les taches émettent moins de chaleur que les autres parties de la photosphère, mais cela ne prouve aucunément que les taches ont réellement une température plus basse, *cela prouve tout simplement que leur pouvoir émissif est moindre*. Et ce pouvoir émissif doit être moindre si, en nous conformant à l'hypothèse généralement acceptée, nous voyons dans les taches des trous dans la nappe nuageuse photosphérique et admettons en outre que les gaz dont ces trous sont remplis ont une température tout à fait égale à celle de la photosphère.

(*l*) Henry : *Phil. Mag. Ser. III* 28 p. 230 (1845) — Pogg. *Ann.* 68 p. 101 — Young : *General Astronomy* p. 193. — Secchi : *le Soleil I* p. 208 — Young, *le Soleil* p. 214. — « D'après les résultats déterminés avec beaucoup de soin par M. Langley, « l'ombre d'une tache émet environ 54 p. 100 et la pénombre environ 80 p. 100 de « la chaleur émise par une surface correspondante à la photosphère » (Young : *le Soleil* p. 126).

Car dans ce cas le pouvoir émissif du gaz dans les taches doit être bien moindre que celui de la matière plus ou moins condensée de la photosphère. C'est pour la même raison que la flamme du gaz d'éclairage diminue sensiblement en pouvoir émissif, si en y introduisant de l'air on en fait une flamme de Bunsen. Cette flamme, bien qu'augmentant alors en température diminue, même pour la main tenue à courte distance, très sensiblement en pouvoir rayonnant (*m*).

47. Mais, dira-t-on, il y a aussi les observations spectroscopiques, qui semblent prouver que les taches ont une temp. plus basse ; car le spectre des taches se distingue de celui des régions voisines non seulement par un moindre éclat dans toutes ses parties mais aussi par un renforcement dans l'obscurité de plusieurs de ses raies d'absorption. Mais le spectroscope ne peut être un thermomètre différentiel, qu'à la condition qu'on connaisse parfaitement les conditions physiques des sources lumineuses qu'on compare. Dans le cas, qui nous occupe le renforcement des raies obscures ne prouve rien. Car au lieu d'être causé par la diminution de temp. du gaz absorbant il peut être causé tout aussi bien par l'augmentation de sa masse, la température restant égale (*n*). (193, 233—236).

48. Si dans la masse tranquille du soleil la température dans un même niveau doit être tout partout égale, on comprendra aussi que pour la même raison (45) la température n'y subira jamais un *changement local soudain*. Et il est donc évident que la température générale du soleil n'abaissant d'après une évaluation de Secchi que de tout au plus „un degré en quatre mille ans” (*o*) la température

(*m*) Tyndall: Wärme als Art der Bewegung, p. 498. „Die totale Wärme, welche von der Flamme des Bunsen'schen Brenners ausgestrahlt wird, ist bei weitem geringer als wenn sich weiss glühende Kohle in der Flamme befindet. In dem Augenblick, wo sich die Luft mit der leuchtenden Flamme mischt, fällt die Ausstrahlung so bedeutend, dass die Abnahme sogleich entdeckt wird, selbst wenn man nur die Hand oder das Gesicht der Flamme nähert”.

(*n*) Schuster: Ueber den Einfluss der Temperatur und des Druckes auf die Spectra der Gase. Spectr. Analyse v. Roscoe 1890 p. 145. — Quoique, comme je le démontrerai plus bas (177—194, 150—165, 208—209) l'analyse spectrale ne puisse conduire que rarement à une connaissance plus ou moins certaine des *conditions physiques* d'une source lumineuse quelconque, et quoique ce défaut soit surtout embarrassant lorsqu'on étudie les corps célestes, il est évident en tout cas que *ceteris paribus* tout gaz produira des raies d'autant plus fortes que ses molécules seront plus nombreuses.

(*o*) „Quoique le soleil perde continuellement des quantités énormes de chaleur, l'abaissement de température est extrêmement faible, il ne dépasse pas 1 degré en quatre mille ans. Ce résultat est dû en partie à l'état de dissociation dans lequel se trouve la matière” Secchi: le Soleil II, Origine et conservation de la chaleur solaire, p. 281.

des couches solaires peut être considérée comme demeurant tout partout sensiblement constante, ou ne changeant en tout cas qu'avec une lenteur extrême et d'une manière tout à fait régulière et continue.

§ 4.

La tranquillité du gaz solaire se comprend facilement, parce que ce gaz étant nécessairement riche en molécules dissociées et évaporées, prêtes à se condenser et à produire de la chaleur au moindre refroidissement, toute diminution de température y est impossible et a fortiori tout refroidissement inégal, qui seul pourrait mettre la masse en mouvement.

49. La tranquillité intérieure du soleil ne se conçoit pas seulement comme déduction et „conditio sine qua non” de sa stratification durable et de tant d'autres particularités, astronomiquement observées (56) dont nous venons d'en rappeler quelques-unes, elle se conçoit aussi a priori infiniment mieux que l'agitation violente, que généralement on suppose.

50. Tout le monde sait en effet que l'unique cause de nos cyclones terrestres réside dans l'action perturbatrice du soleil. Une cause perturbatrice pareille ne pouvant exister à l'extérieur du soleil lui-même, l'atmosphère solaire sera donc sous ce rapport tout aussi calme que le serait la nôtre si le soleil n'existait pas. Mais, dira-t-on, c'est le refroidissement inégal qui cause ces bouleversements qu'on suppose. J'y répons (et c'est ici que commence ma théorie nouvelle) que *dans le soleil il n'existe aucun refroidissement inégal, parce que l'état évaporé et dissocié du soleil y rend impossible même le moindre refroidissement soudain.* Le gaz solaire en effet doit être riche en molécules disgrégées, toujours prêtes à s'agréger dès que leur perte continuelle de chaleur par rayonnement leur en fournit l'occasion et à empêcher de la sorte par la chaleur produite dans leur agrégation que la température baisse d'une manière notable. Ces molécules disgrégées appartiennent d'ailleurs à deux catégories :

51. 1^o il y a celles des *vapeurs refroidies jusqu'à leur point de rosée*, qui se trouvant tout partout dans l'atmosphère solaire (et dans les couches photosphériques) y attestent visiblement leur saturation par le brouillard de poussière condensée dont elles remplissent toujours plus ou moins les couches extérieures de l'astre (73). Dans un brouillard saturé pareil la température demeurera toujours station-

naire, quelque grande que soit d'ailleurs la quantité de chaleur qui y est enlevée ou qui s'y développe (p).

52. 2^o il y a aussi les molécules de *matières dissociées, refroidies jusqu'au point où leur combinaison devient possible*. Ces molécules devront collaborer avec celles des vapeurs refroidies jusqu'à leur point de rosée pour maintenir la température constante. Car se combinant toujours davantage à mesure que leur chaleur se perd par rayonnement, la chaleur nouvelle qu'ainsi elles engendrent s'opposera au refroidissement, et ne produira d'ailleurs aucun surcroît de température, parce que un tel surcroît serait immédiatement absorbé non seulement par l'évaporation du brouillard déjà considéré plus haut (51) mais aussi par la décomposition chimique de ces mêmes molécules qui en se formant ont été la source unique de la chaleur nouvelle.

53. Il résulte des considérations précédentes que le calme intérieur du soleil, si clairement démontré par la stratification inébranlable des gaz solaires (29), n'a en somme rien pour nous surprendre. Car nous voyons dans les condensations physique et chimique au moyen desquelles le soleil répare sans cesse sa chaleur perdue un *frein automatique* empêchant tout mouvement que sans lui assurément le refroidissement devrait causer.

54. On objectera peut-être que le rôle, que ma théorie fait jouer ainsi à l'énergie chimique semble dépasser sa puissance. Et l'on se basera alors sur le raisonnement bien connu „que le soleil „ne saurait maintenir sa chaleur au moyen d'une combustion quelconque, parce que, si le soleil était fait de charbon massif brûlant dans l'oxygène pur, il ne pourrait durer qu'environ 6000 ans „et aurait été consumé presque au tiers depuis le commencement de

(p) La température, il est vrai, varierait tant soit peu, si la condensation décrite pouvait causer dans la masse solaire un changement notable de pression. Mais il est facile de comprendre que, lorsque dans une couche solaire le brouillard s'épaissit quelquepart, la matière alors condensée ne forme toujours qu'une fraction tellement petite de la masse entière du soleil qu'il n'en peut résulter aucun changement sensible dans la pression totale.

(r) Si le soleil en était déjà à cette extrémité son spectre nous aurait déjà révélé la présence de combinaisons chimiques analogues à celles que nous connaissons. Or nous savons que dans le soleil et les étoiles blanches et jaunes ces combinaisons n'ont pas encore été découvertes et qu'on ne les a rencontrées jusqu'à présent que dans les étoiles rouges de la 3^{me} classe de M. Vogel: „Sterne, deren Glühhitze so „weit erniedrigt ist, dass Associationen der Stoffe, welche ihre Atmosphären bilden, „eintreten können, welche, wie neuere Untersuchungen ergeben haben, stets durch „mehr oder weniger breite Absorptionsstreifen charakterisirt sind (rothe Sterne)“ Vogel: Astr. Nachr. Bd. 84 N^o. 2000. — Scheiner: Spectr. d. Gestirne p. 261 — Secchi: les Etoiles I p. 122.

„l'ère chrétienne" (q). Dans ce raisonnement cependant on oublie une circonstance capitale : C'est que dans le soleil tous les éléments de notre chimie terrestre n'existent pas encore. C'est ce que nous avons déjà expliqué plus haut (23, 24) et c'est ce que nous verrons plus bas aussi (134—149). Ce n'est pas une combustion comme celle du coke dans nos poêles, qui entretient le feu solaire. Notre astre du jour heureusement n'en est pas encore à cette extrémité ! (r) Pour le moment ce n'est pas à la chaleur de combustion des *éléments qui brûlent*, mais à la chaleur de formation des *éléments qui naissent* que le soleil doit en grande partie l'entretien de sa chaleur (s).

55. Il va sans dire du reste, que si mon explication de la tranquillité intérieure du soleil et de l'absence de perturbations thermométriques locales semble donner en même temps une explication de la conservation de la température solaire; cette dernière explication n'exclut nullement celle de M. Helmholtz, qui voit dans une contraction éventuelle du globe solaire une abondante source de chaleur (t). Ces deux explications d'ailleurs se ressemblent et se com-

(q) Young, le Soleil p. 219.

(s) L'idée de voir dans les atmosphères refroidissantes stellaires la synthèse des éléments de notre Chimie terrestre a été énoncée, comme nous le verrons plus loin (136), par un grand nombre de savants. Citons par exemple M. Lockyer en premier lieu, et puis Brodie, Sterry Hunt, Mills, Crookes et Grünwald.

Secchi s'exprime de la manière suivante: „Il est possible qu'à la température à laquelle se trouve le globe solaire la dissociation s'étende également à ces éléments premiers, à cette *Urstoff* des philosophes allemands. Il y aurait donc là une nouvelle source de calorique, car toute dissociation suppose une quantité considérable de chaleur latente, qui doit devenir sensible au moment de la combinaison. Cette conjoncture ne doit pas paraître invraisemblable, surtout si nous réfléchissons à la mystérieuse existence de ce gaz très léger qui produit la raie 1474 de la couronne, à cet autre corps, dont nous avons parlé tant de fois, qui donne naissance à la raie D₃, et enfin à tant d'autres substances auxquelles on doit attribuer des raies nombreuses qui se trouvent dans le spectre solaire et dont l'origine nous est inconnue." Secchi: le Soleil II Origine et conservation de la chaleur solaire, p. 278 — Meldola: Phil. Mag. Juli 1878, On a Cause for the Appearance of Bright Lines in the Solar Spectrum. Voir la note (v) de mon alinea 58. — Ennis: Phil. Mag. Sept. 1878, The Origin of the Power which causes the Stellar Radiations p. 225 „The only true theory for the *ignes aeterni* is that of chemical action".

(t) Helmholtz: Wechselwirkung der Naturkräfte — Young, le Soleil p. 222, — Radau, Bull. Astr. II p. 316. — Clerke, Gesch. d. Astronomie p. 375. — A propos de la conservation de la chaleur solaire je dois rappeler ici aussi les hypothèses météoriques bien connues, de R. Mayer (Dynamik des Himmels 1848), Waterston (1853) et W. Thomson (Trans R. Soc. of Edinburg 1854) et l'hypothèse toute récente du P. Leray, d'après laquelle le soleil trouverait dans la force vive de „courants éoniens" une source permanente d'énergie. (Leray: Compl. de l'Essai sur la synthèse des forces physiques (1892) p. 69) Dans les Parties de ma théorie, que j'espère publier plus tard, j'aurai à revenir sur ces hypothèses remarquables.

plètent, car elles font voir toutes deux, que c'est la *condensation moléculaire par refroidissement*, qui dans les corps incandescents célestes maintient la température sensiblement constante, et elles font voir ensemble que cette condensation s'opère de trois manières différentes :

physiquement, dans la matière évaporée,
chimiquement, dans la matière dissociée,
mécaniquement, dans la matière dilatée.

56. La tranquillité intérieure du soleil une fois reconnue et expliquée, comme je viens de le faire, nous verrons qu'un grand nombre de phénomènes solaires inexplicables jusqu'ici, deviennent aisément compréhensibles ; les forces physico-chimiques connues suffisant complètement pour expliquer dans le soleil tranquille la cause de ces phénomènes, leur localisation et leur périodicité. Si par conséquent mon Principe I n'était pas encore suffisamment établi par les observations astronomiques (9, 10, 34, 35, 37, 43, 151, 152) et par les considérations spectroscopiques et théoriques, que je viens de rappeler, il s'imposerait toujours quand même en vertu de la grande facilité avec laquelle il nous aidera à dévoiler tant de phénomènes encore complètement mystérieux aujourd'hui. C'est à l'explication complète des phénomènes qu'on reconnaît les bonnes théories. *Voilà pourquoi la vérité de mon Principe I ne sera réellement évidente que pour quiconque l'aura vu à l'oeuvre dans ma théorie entière.*

57. PRINCIPE II: LE REFROIDISSEMENT CONTINU DES ASTRES CAUSE GÉNÉRALEMENT DANS LEURS COUCHES EXTÉRIEURES UNE TRANSFORMATION INTERMITTENTE DE L'ÉNERGIE CHIMIQUE EN CHALEUR ET Y PRODUIT ALORS DES ÉRUPTIONS DE CHALEUR PÉRIODIQUES.

58. Ce ne peut être le hasard qu'en général ce sont surtout des étoiles rougeâtres très refroidies, qui nous font observer des changements d'éclat. Il est au contraire infiniment plus probable qu'*entre le refroidissement de ces étoiles les plus refroidies et leurs changements d'éclat il existe une relation de cause à effet.* C'est en cherchant la nature de cette relation que j'ai trouvé mon Principe II et avec lui ma théorie entière (v). Ce principe fondé par conséquent en premier

(v) Le développement graduel de ma théorie peut être suivi dans les cinq opuscules suivants, dont les trois premiers ont été publiés lorsque je ne songeais pas

lieu sur l'étude des étoiles variables se conçoit théoriquement de la manière suivante :

sérieusement encore à appliquer mon Principe II à l'étude du soleil: 1°. Maatschappij Diligentia, Nat. Voordrachten 16e Serie 1887—1888 beschreven door P. A. Haaxman Jr. Febr. 88, Dr. A. Brester Jz. De Zon, p. 57—74. — 2°. Verklaring van de veranderlijkheid der Roode Sterren, Delft, J. Waltman Jr. Mei 1888. — 3°. Essai d'une Explication chimique des principaux phénomènes lumineux stellaires, Delft, J. Waltman Jr. Juillet 1888. — 4°. Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles Variables, Delft, J. Waltman Jr. Décembre 1888. — 5°. Maatsch. Diligentia, Nat. Voordr. 19e Ser. 1890—91. Scheikundige verschijnselen in den Sterrenhemel (9 Jan. 1891). — Ma théorie étant développée j'ai vu plus tard qu'il y a un phénomène stellaire, que déjà en 1877 M. Lohse a expliqué comme dû à la combinaison chimique, que le refroidissement doit produire dans la matière dissociée de l'astre. C'est l'apparition soudaine des étoiles temporaires. (Dr. Osw. Lohse, Ueber Schmidts neuen Stern im Schwan, Monatsber. d. K. Pr. Ak. d. Wiss. zu Berlin 1877 p. 826, 833 etc.). *M. Lohse cependant ne fit aucune tentative pour appliquer son idée à l'explication d'une périodicité quelconque.* Il n'avait en vue que les étoiles temporaires et certains rehaussements d'éclat accidentels dans quelques autres étoiles. J'ai vu encore beaucoup plus tard, qu'un peu plus clairement que par M. Lohse la première idée de mon Principe II avait été déjà vaguement énoncée par M. Mills. (Crookes: Opening Address of Sect B of the Brit. Assoc. in 1886, Nature Sept. 2 1886 p. 426) «Dr. E. J. Mills suggests that the elements, as we now have them, are the result of successive polymerisations The heat given out in the act of polymerisation naturally reverses to some extent the polymerisation itself and so causes a partial return to the previous condition of things. This forward and backward movement, several times repeated, constitutes periodicity. Dr. Mills regards variable stars as instances, now in evidence, of the genesis of elementary bodies.» Quoique la marche des phénomènes ne puisse être aussi simple que M. Mills la décrit ici (la chaleur de formation de molécules AB se combinant par le refroidissement d'un mélange A + B devant toujours répondre à une diminution des molécules A et B et ne pouvant jamais répondre en même temps à une augmentation de ces mêmes molécules) il est évident cependant que l'idée de M. Mills a beaucoup de ressemblance avec l'idée principale de mon Principe II. M. Meldola a émis aussi une idée analogue. Dans les raies brillantes, que Draper avait constatées dans le spectre solaire (Draper: Nature Aug. 30, 1877) M. Meldola vit l'effet dans les couches extérieures refroidies de l'atmosphère solaire d'une combinaison de matières dissociées dans la profondeur. Cette combinaison par le refroidissement lui parût tellement importante qu'il y vit tout de suite une cause possible des phénomènes des étoiles temporaires et des étoiles variables. Il ne fit cependant aucune tentative d'expliquer une périodicité quelconque. «On the whole (dit-il) the possibility of actual combustion taking place in the atmosphere of a slowly cooling star previously at a temp. of dissociation does not seem to me to have had sufficient weight attached to it; and in concluding I would point out the important factor which is thus introduced into calculations bearing upon the age of the suns heat in relation to evolution» (R. Meldola: Phil. Mag. July 1878.) Les explications de M.M. Lohse, Mills et Meldola durent d'ailleurs demeurer imparfaites, car l'idée de démontrer la tranquillité intérieure des astres ne leur étant pas venue, leurs explications étaient incompatibles avec l'hypothèse généralement adoptée de l'agitation continuelle des couches extérieures stellaires. C'est ce qu'on voit clairement développé par M. Scheiner dans son traité récent: «Die

59. La seule force à l'oeuvre dans l'astre incandescent tranquille, l'unique cause de tous les phénomènes que cet astre nous fait voir, c'est la cause même de son immobilité, c'est l'attraction de ses molécules disgrégées s'agrégeant toujours davantage et restaurant ainsi toujours au possible la température première, à mesure que leur chaleur s'épuise dans les rayons, que l'astre produit. Si toutes les molécules disgrégées n'exigeaient qu'un refroidissement infinitésimal pour s'agréger tout de suite, il en résulterait bien toujours, d'après mon Principe I, la tranquillité parfaite du gaz stellaire (50), mais il ne s'en suivrait aucun des phénomènes caractéristiques que le soleil et les étoiles variables nous font observer. Mais il est aisé de comprendre que parmi les molécules disgrégées stellaires il doit y en avoir, qui s'agrégeront d'une manière intermittente et causeront ainsi des productions périodiques de force vive, que j'ai nommées „éruptions de chaleur”. *Ce sont ces molécules dissociées dont la combinaison chimique n'est pas entravée par une température trop élevée, mais par le trop grand nombre d'autres molécules qui les séparent.*

60. Ces molécules dissociées fortement séparées, que j'ai nommées *surdissociées* lorsque refroidies au dessous de leur température de dissociation elles continuent cependant à rester dissociées, se trouveront là par exemple, où en vertu de la température augmentant vers le centre une combinaison A B existant à l'extérieur refroidi de l'astre *commence* à se trouver dissociée. Car la chimie nous apprend (*w*) qu'à cette température de dissociation commençante il n'y a encore qu'une quantité très petite de molécules A et B disséminées dans la grande masse des molécules encore intactes et que ce n'est qu'aux températures plus élevées des couches plus profondes qu'on verra, dans le mélange $AB + A + B$, les molécules intactes AB diminuer peu à peu avec la profondeur et puis disparaître tout à fait.

61. Si d'ailleurs, pour simplifier, nous nommons $A + B + R$

Spectralanalyse der Gestirne p. 303” où à propos de l'explication de M. Lohse il s'exprime de la manière suivante: „Die grosse Heftigkeit der Vorgänge auf einem Sterne bei seinem Aufleuchten deutet darauf hin, dass sie, wenn sie auch nur oberflächlich stattfinden, doch beträchtliche Massen betreffen, dass also die chemische Vereinigung innerhalb grosser Gebiete plötzlich erfolgen muss. Dies ist aber nur möglich, wenn die Temp. innerhalb des grossen Gebietes eine durchaus gleiche ist, wenn ein Zustand absoluter Ruhe herrscht und keine Strömungen, seien es radiale, seien es seitliche, stattfinden. Das sind aber Voraussetzungen, die höchst unwahrscheinlich sind, und von denen die Sonne gerade das gegentheil zeigt.”

(*w*) E. H. Sainte-Claire Deville: Leçons sur la dissociation professées devant la Société chimique 1864. — Beiträge zur chemischen Statik v. Dr. L. Pfaunder, Pogg. Ann. 131, p. 55 (1867).

la composition chimique de la couche sphérique où la combinaison $A B$ commence à se trouver dissociée, les molécules R ne désigneront pas seulement des molécules $A B$ éventuelles mais encore (et même plus sûrement) tout le reste aussi des molécules constituant avec elles la couche décrite de l'astre, et les molécules $A B$ y figureront en nombre d'autant plus grand que la stratification stellaire, qui d'après mon Principe I est essentiellement gravitique (28) aura mieux rendu possible la stratification thermique (11) rappelée à l'alinéa précédent. Mais la nature des molécules R ne nous importe guère. *Il suffit de savoir que ces molécules, que je nommerai intermédiaires, sont infiniment plus nombreuses que les molécules A et B qu'elles séparent.*

62. Si maintenant nous supposons qu'un refroidissement infinitésimal rabaisse la température de la couche $A + B + R$ au point que la combinaison des molécules A et B y aurait lieu sûrement, si les molécules innombrables R n'étaient pas là, alors ce même refroidissement ne suffira pas pour produire cette combinaison, maintenant que ces molécules R y sont bien. *Car il est évident que ces molécules R innombrables, qui s'interposent entre les molécules A et B , doivent agir comme un obstacle contre leur réunion.* Et cet obstacle empêchera ici d'autant plus efficacement la combinaison des molécules A et B que dans la couche considérée le pouvoir synthétique de ces molécules est encore très petit et beaucoup plus petit par exemple qu'on ne l'observe jamais dans nos laboratoires. Et en effet ce n'est que dans la masse immense des étoiles que, grâce à la température, qui y demeure stationnaire (48) des molécules A et B peuvent conserver de longues années peut-être un pouvoir synthétique aussi petit. Car ce pouvoir synthétique n'étant si petit que lorsqu'il se déclare à une température ne différant que d'une fraction de degré de celle où toute combinaison devient impossible conservera cette valeur minimale et restera incapable de vaincre l'obstacle des molécules R tant que dans la couche $A + B + R$ la température n'aura pas sensiblement changé. *Or nous savons que dans les couches stellaires tout changement de température s'opère toujours avec une lenteur extrême (48).*

63. Si dans les récipients de nos laboratoires l'obstacle des molécules R paraît le plus souvent aisément écarté, c'est parce que là le refroidissement d'un mélange $A + B + R$ quelconque est toujours infiniment plus rapide, ne dure ni des années, ni des siècles et donne par conséquent bien vite aux molécules A et B le pouvoir synthétique plus grand, qu'il leur faut pour vaincre tout obstacle. Il n'est donc nullement étonnant par exemple que d'après les expériences de Deville la vapeur d'eau dissociée se recombine bien vite

et complètement en eau lorsqu'on refroidit cette vapeur. Il n'en est que plus remarquable que *même dans les récipients de nos laboratoires l'influence décrite des molécules R peut être rendue complètement évidente*. Mais alors il faut que ces molécules R soient excessivement nombreuses. C'est ainsi par exemple qu'en refroidissant un mélange $A + B + R$, d'eau dissociée $A + B$ et de gaz acide carbonique R, Deville put recueillir du gaz tonnant, c'est-à-dire des molécules A et B, qui d'après les autres expériences de Deville, que je viens de rappeler, se seraient sûrement recombinaées si les molécules R d'acide carbonique n'avaient pas été présentes (x).

(x) Deville: Leçons sur la dissociation — Debray: Dict. de Chimie par A. Wurtz, Art. Dissociation p. 1174. — On connaît d'ailleurs encore d'autres phénomènes, où l'effet de l'obstacle des molécules R se manifeste plus ou moins clairement. C'est à des molécules R d'azote que Deville attribua en partie le résidu de gaz tonnant dans la décomposition de l'eau au moyen du platine fondu (Deville: Leçons sur la dissociation p. 59). C'est à des molécules R qu'il attribua aussi l'incombustibilité d'un mélange explosif répandu dans une certaine quantité de gaz inerte (Debray: loc. cit. p. 1174). C'est à cette même incombustibilité que moi aussi je me suis référé dans mes Essais précédents pour bien faire ressortir l'influence des molécules R. Mais M. H. J. Zwiers, bachelier ès sciences à Leiden m'a fait observer avec raison que cette incombustibilité ne prouve aucunement que les molécules R ont l'influence, que je voulais démontrer; car elle s'explique suffisamment par le refroidissement que ces molécules doivent causer, refroidissement qui empêchera qu'une combustion éventuelle provoquée par l'étincelle se propage dans le reste du mélange. Quoique cette action refroidissante des molécules R soit complètement évidente, M. Bunsen en l'étudiant de plus près, a démontré cependant, qu'elle ne suffit pas à elle seule pour rendre compte de l'incombustibilité, qui, dit-il, dépend en outre de la *substantielle Natur der vorhanden nicht selbst an der chemischen Verbindung theilnehmenden Gemengtheile*" (Gas. Meth. p. 266). Et voilà pourquoi un mélange $A + B + R$ encore inflammable peut devenir ininflammable lorsqu'on y remplace les molécules R par des molécules R'ayant cependant le même pouvoir refroidissant. Les expériences de Gay Lussac et v. Humboldt (Gilb. Ann. XX p. 49) et celles aussi surtout de H. Davy (Phil. Trans. 1817) prouvent de même que les molécules R ont *une influence spécifique très différente de leur pouvoir refroidissant*" (Salet, Dict. de Chimie par Wurtz, Art. Combustion p. 961) et prouvent surtout que si les molécules R sont identiques avec A ou B, elles peuvent être ajoutées en beaucoup plus grande quantité avant de rendre le mélange ininflammable. Je dois ajouter aussi que M. Dixon a prouvé que lorsque des molécules R participent à la réaction il arrive quelquefois qu'elles hâtent la combinaison des molécules A et B qu'elles séparent. Il est évident que des molécules R pareilles ne sont pour ma théorie d'aucune utilité. Mais, si elles ne lui font pas de bien, elles ne lui font pas de mal non plus. Je rappellerai ici aussi l'accueil sympathique qu'a trouvé l'hypothèse de M. Arrhenius de la dissociation des électrolytes en ions, accueil qui aurait été impossible si l'idée de l'obstacle que forment les molécules R à la combinaison des molécules A et B, qu'elles séparent n'avait pas été facilement acceptée. Dans cette hypothèse en effet c'est l'influence des molécules R d'eau, qui (du moins dans une solution très étendue) empêche les ions A et B de se combiner et conduit ainsi par exemple à ce résultat

64. Revenons maintenant à notre couche $A + B + R$ de l'astre. Si dans cette couche le pouvoir synthétique encore très petit des molécules A et B ne parvient pas à vaincre l'obstacle des molécules R , ou ne le vainc que petit à petit, cet état surdissocié des molécules A et B pourra durer très longtemps. Car ce pouvoir synthétique n'étant encore si petit que parce que la température y est encore si élevée, et la température d'une couche stellaire ne baissant d'ailleurs qu'avec une lenteur extrême (48), les molécules A et B désireuses de s'unir n'auront sous ce rapport rien à espérer d'une température plus propice. Mais, *comme ce n'est pas seulement la température encore élevée, mais surtout aussi la présence des molécules R innombrables, qui empêche l'union des molécules A et B , une diminution suffisante dans le nombre de ces molécules R aura le même effet qu'une diminution de la température.* Or cette diminution des molécules R aura lieu (sans diminution de la température) si parmi l'immense diversité des molécules R , il y a, ou bien une vapeur refroidie jusqu'à son point de rosée et prête par conséquent à se condenser en nuages, ou bien des molécules C et D nombreuses, prêtes de même à se condenser chimiquement. Car en ce cas le rayonnement de l'astre causera, ou bien la condensation de ces nuages ou bien la synthèse de la combinaison plus dense CD , et ce seront alors ces molécules R , qui seules auront à accomplir la tâche immense de s'opposer quelque temps par leur condensation au refroidissement de la couche stellaire.

65. *Or comme un tel effet du rayonnement de l'astre doit très rapidement diminuer dans la couche considérée le nombre des molé-*

surprenant, qu'une solution normale de chlorure de potasse (74,5 gr. par litre) ne contiendrait presque pas de chlorure, le chlore et le potassium y étant présents à l'état d'atomes libres, les molécules R d'eau interposées les empêchant de se combiner. (Ostwald: Grundriss der Allgemeinen Chemie p. 271 et s.) C'est ainsi aussi qu'en augmentant la température le peroxyde d'azote dissous dans le chloroforme se dissocie plus vite que le peroxyde pur. (Tudor Cundale: Nature Nov. 26, 1891).

Mon idée du retard que doivent pouvoir causer les molécules R peut être illustrée par l'expérience bien simple que voici: En mélangeant de l'empois d'amidon avec une solution d'iode on obtient un jodure bleu, qui, si le mélange a été fait en proportion convenable, se décompose facilement et se décolore par conséquent lorsqu'on porte le liquide à l'ébullition, mais se recompose tout de suite en bleuisant de nouveau dès qu'on plonge l'éprouvette chauffée dans un bain d'eau froide. Si maintenant on prend deux éprouvettes, et ayant versé dans l'une deux fois plus du liquide bouillant décoloré que dans l'autre, on verse dans cette autre de l'eau bouillante jusqu'à rendre les deux contenus égaux, alors, en plongeant ces deux éprouvettes également chaudes et également remplies dans l'eau froide, on verra dans le liquide non allongé le jodure bleu réapparaître tout de suite, tandis que dans l'autre les molécules R de l'eau ajoutée causeront un retard de plusieurs minutes.

cules *R* intermédiaires, ces molécules finiront par n'être plus en nombre pour empêcher plus longtemps les molécules *A* et *B* de s'unir. Alors tout d'un coup ces molécules s'uniront et produiront de la sorte une *éruption de chaleur*. Mais cette chaleur, dépendant de l'énergie chimique totale des molécules *A* et *B* accumulées durant la surdissociation, et d'autant plus considérable d'ailleurs, que les molécules *R* auront été condensées plus vite et que par conséquent les molécules encore fortement séparées *A* et *B* auront eu moins du temps qui leur eût fallu pour répondre complètement à cette condensation par leur combinaison continue, — cette chaleur, dis-je, tout en s'opposant autant que possible au refroidissement, ne causera jamais le moindre rehaussement de température. Car cette chaleur sera absorbée aussitôt par l'évaporation ou la dissociation qu'elle doit causer de nouveau dans les molécules *R* condensées, auxquelles elle rendra de la sorte leur rôle surdissociant. Et ce travail terminé, la température ne sera jamais plus haute qu'auparavant, parce qu'une température plus haute causerait un surcroît de dissociation, tandis qu'au contraire l'unique cause d'une éruption de chaleur est la formation de molécules *A B* nouvelles.

66. Mais si l'énergie chimique en s'opposant autant que possible au refroidissement des astres est impuissante à produire dans les couches stellaires le moindre rehaussement de température, il n'y a aucune raison pourquoi elle n'y produirait pas un rehaussement dans l'éclat lumineux. Nous savons en effet que dans nos flammes terrestres la luminosité ne dépend qu'en partie de la température et qu'un gaz par exemple, où une combinaison chimique s'opère, sera plus lumineux qu'un autre ou, *même à température plus haute*, une telle combinaison n'a pas lieu. Cette luminosité „irrégulière”, qu'on observe aussi dans les phénomènes de phosphorescence et de fluorescence et dans les tubes relativement froids de Geissler (187, 193), a été récemment désignée par M. E. Wiedemann (*ij*) sous le nom

(*ij*) E. Wiedemann: Pogg. Ann. (N. F.) 37 p. 177—248.

R. v. Helmholtz: „Die Licht — und Wärmestrahlung *verbrennender Gase*” Berlin 1890.

W. H. Julius: Die Licht — und Wärmestrahlung *verbrannter Gase*, Berlin 1890.

Langley & Vary: „On the cheapest form of light” Amer. Journ. of Science 1890. Vol. 40 p. 97—113.

Merritt: Am. Journ. of Science Vol. 37 p. 167—78.

E. Pringsheim: Wiedemann's Annalen Bd. 45, p. 428. 15 März 1892. „Das Kirchhoff'sche Gesetz und die Strahlung der Gase” — Nature, 28 Januar 1892, p. 312.

R. Dubois: Nouvelles recherches sur la production de la lumière par les animaux et les végétaux. Compt. Rend. 111 p. 363.

général de *luminescence*. On l'attribue à une vibration supplémentaire des atomes à l'intérieur des molécules, tandis que la luminosité régulière, qui dépend bien de la température, est attribuée à la vibration ordinaire, que doit causer le choc extérieur des molécules. Or si dans nos flammes terrestres la combinaison chimique détermine ces deux sortes de vibrations à la fois, il est clair que dans les couches stellaires, où (comme nous avons vu (65)) toute augmentation notable dans l'intensité des vibrations régulières est absolument impossible, la vibration irrégulière sera seule à pouvoir profiter de la combinaison chimique (122 bis).

67. *Voilà pourquoi les éruptions de chaleur, que ma théorie explique, rendent si souvent lumineux le gaz qui les produit et emmagasinent aussi à l'intérieur des molécules nouvellement formées une réserve d'énergie qui, l'éruption de chaleur terminée, prolongera encore quelque temps son effet réchauffant. Il y a d'ailleurs encore une autre circonstance, dont dépendra aussi la durée d'une éruption de chaleur. C'est l'existence de petites inégalités dans la composition chimique d'une couche sphérique surdissociée, inégalités qui empêchant qu'une éruption de chaleur se produise dans tous les points de cette couche à la fois, forceront l'éruption de chaleur à commencer plutôt sur un point que sur un autre et donneront ainsi à toute éruption de chaleur dans un espace limité une durée et une propagation sensibles.*

68. Il résulte de cet examen préliminaire des éruptions de chaleur que produisent les astres en refroidissant : 1^o que ces éruptions de chaleur, bien que réparant chaque fois des pertes de chaleur énormes, s'accomplissent cependant toujours sans changement notable de la température ; 2^o qu'elles sont causées chaque fois par la combinaison d'une partie de ces molécules dissociées, qui ne sont pas prêtes à se réunir au moindre refroidissement, mais qui, demeurant alors surdissociées, auront besoin d'un refroidissement de plus longue durée pour se combiner et pour produire alors une chaleur d'autant plus considérable que la surdissociation aura duré plus longtemps ; 3^o que les éruptions de chaleur doivent pouvoir causer trois sortes de phénomènes lumineux : *a*. Lorsque les nuages, que forment les molécules R, planent à l'extérieur très refroidi de l'astre et nous voilent de la sorte son intérieur brillant, alors une éruption de chaleur, en évaporant ce voile, *augmentera* l'éclat lumineux de l'astre

F. S. Archenhold : Der Leuchtkäfer als billigster Lichtfabrikant. Himmel und Erde Dec. 1890 p. 137.

G. Wiedemann : Die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus IV p. 526,

(tel est le cas des étoiles rouges variables (71) et des étoiles temporaires ; b. Lorsque les nuages, que forment les molécules R planent, comme ceux de la photosphère solaire, dans des couches plus profondes, où elles augmentent de la sorte l'éclat lumineux, alors une éruption de chaleur, en évaporant ces nuages, *diminuera* l'éclat lumineux (tel est le cas des taches solaires (231)); c. Indépendamment de ces deux effets lumineux indirects, produits par l'évaporation des molécules R, une éruption de chaleur aura le plus souvent aussi un effet lumineux plus direct, mais généralement moins visible. C'est la „luminescence chimique” des molécules A B nouvellement formées (tel est le cas des protubérances solaires (118), des banderolles coronales (165) et des queues cométaires (207)); 4° (last not least) *L'effet principal d'une éruption de chaleur est de restaurer autant que possible dans la couche où elle se produit la composition qu'elle avait lorsque la surdissociation commença, et de préparer ainsi dans cette couche une éruption de chaleur nouvelle après une nouvelle période de surdissociation.*

69. Voilà expliqué comment l'énergie chimique des éléments dissociés stellaires doit s'opposer d'une manière intermittente à leur refroidissement, et comment elle doit produire ainsi dans les couches extérieures des astres des *éruptions de chaleur périodiques*, qui se répèteront avec des périodes sensiblement égales tant que la combinaison toujours progressante dans les couches dissociées n'aura pas encore sensiblement changé leur composition chimique.

70. Ce mécanisme toujours paisiblement à l'oeuvre dans les couches extérieures des astres marche donc comme une horloge dont le ressort immense est l'énergie chimique de la matière dissociée $A + B$; dont l'échappement est l'oscillation dans la condensation de la matière R dans les couches refroidissantes, et dont le tic-tac marquant le temps est l'éruption de chaleur périodique. C'est ce mécanisme que nous voyons marcher dans le soleil et les étoiles variables.

71. Dans les étoiles variables la condensation intermittente des molécules R produit par intervalles à l'extérieur de l'astre des nuages obscurcissants. *Plus ces nuages s'épaississent, plus ils voilent l'éclat intérieur de l'astre, plus aussi ils préparent un maximum nouveau.* Car dès que, l'étoile étant au minimum, la condensation des molécules R en nuages aura atteint une certaine limite, les molécules A et B, que ces molécules séparaient, cessant d'être suffisamment séparées, se combineront, et produiront de la sorte une éruption de chaleur, qui en évaporant les nuages du minimum restaurera le maximum en rendant mieux visible de nouveau l'intérieur toujours invariablement brillant de l'astre.

72. Si mon Principe II aboutit de la sorte à une explication plausible du phénomène des étoiles variables (explication qu'on trouvera plus détaillée dans la 2^{me} Partie de ma théorie); si ce même Principe nous fait comprendre pourquoi c'est surtout parmi le petit nombre d'étoiles très refroidies rougeâtres, à combinaisons chimiques et à atmosphères fortement vaporeuses que se rencontrent les étoiles variables; ce même Principe explique aussi pourquoi inversement toutes ces étoiles très refroidies, rougeâtres ne sont pas nécessairement variables. Il ne suffit pas en effet, que l'atmosphère d'une telle étoile soit riche en vapeurs absorbantes, il faut aussi qu'une au moins de ses vapeurs principales soit refroidie *précisément jusqu'à son point de rosée*. Une température plus haute, en empêchant la formation de nuages rendrait la variabilité impossible (z). Il n'est donc nullement incompatible avec ma théorie, comme M. Fowler semble le croire (a) que M. Duner ait trouvé les spectres des étoiles 120 Schj. et D. M. + 47° 2291, qui ne sont pas variables, identiques avec ceux des étoiles Chi Cygni et R Leonis, qui le sont bien. Car l'identité de ces spectres est loin de prouver que les atmosphères de ces quatre étoiles seraient absolument semblables en composition chimique et même tellement semblables en température, que celle-ci ne pourrait différer d'une étoile à l'autre d'une fraction de degré. Or,

(z) Si le hasard voulait qu'à un moment donné un astre fût complètement dépourvu de molécules surdissociées A et B séparées par des molécules R *plus condensables*, alors pour le moment cet astre rayonnerait sans causer des éruptions de chaleur. Mais cet état accidentel ne serait pas nécessairement durable; car la perte de chaleur continuant toujours, et cessant de pouvoir être immédiatement réparée par l'énergie épuisée de molécules directement combinables, la surdissociation gagnera à la longue des couches nouvelles, où les molécules seront bien dans la condition qui y devra provoquer des éruptions de chaleur (324). Cette note a été écrite en réponse à M. Doyer van Cleeff, qui dans un article consacré à ma théorie (Album der Natuur 1889 6^{de} Afl.) s'est demandé avec raison (p.p. 197 et 200) pourquoi les molécules R seraient toujours plus facilement condensables que les molécules A et B qu'elles séparent. En concédant maintenant la possibilité que cette plus grande condensabilité des molécules R puisse faire défaut ma théorie gagne encore en généralité. Car prévoyant de la sorte l'existence d'étoiles temporairement dépourvues d'éruptions de chaleur, elle peut nous expliquer maintenant comment il se fait, qu'il y ait des étoiles variables, qui comme R Cor. Bor. ont pu perdre leur variabilité passée et puis la reprendre de nouveau 30 ans plus tard (Schmidt: Astr. Nachr. N°. 1895. — Schönfeld: Astr. Nachr. N°. 1907 — Humboldt: Cosmos 3e Deel 2e Afl. p. 241 — Oudemans: De Sterrenhemel verklaard door F. Kaiser, 1^{ste} Deel p. 588, 2^{de} Deel p. 503). N'oublions pas non plus que toute agitation dans une couche stellaire dissociée doit y contrarier la surdissociation et empêcher la production d'éruptions de chaleur bien fortes (282). Il en est de la surdissociation comme de la sursaturation: toutes deux ne peuvent durer que dans la matière tranquille.

(a) A. Fowler: Nature April 25 1889, p. 606.

d'après ma théorie, *une fraction de degré est tout ce qu'il faut p ur nous cacher un monde entier ou le nous faire voir de nouveau dans tout son éclat (b).*

73. Si la condensation nuageuse intermittente, que ma théorie postule, semble donner une explication bien plausible du phénomène des étoiles rouges variables (c), *le soleil nous montre clairement que cette condensation nuageuse intermittente n'est pas seulement une hypothèse plausible mais la réalité.* Car dans sa photosphère, ses taches, ses protubérances et ses banderolles coronales des condensations nuageuses intermittentes s'observent constamment (111—118, 167, 169, 263, 294). Je considère l'intermittence dans ces condensations incessantes, que le spectroscopie et le polariscopie ont fait découvrir aussi dans les queues de comètes (207) comme une confirmation éclatante de mon Principe II, confirmation à laquelle j'étais loin de m'attendre lorsque sans penser encore au soleil j'appliquai ma théorie en premier lieu aux étoiles variables.

74. Le mécanisme à éruptions de chaleur périodiques (70), qu'au commencement je ne croyais exister que dans les étoiles variables, marche dans le soleil beaucoup plus visiblement. Nous l'y découvri-
rons aisément. *Car de tous les phénomènes périodiques dont le soleil à cause de son rapprochement nous rend si facilement témoins, ce mécanisme est la cause unique!*

(b) Brester: "Variable Stars and the constitution of the Sun", Nature April 25, 1889 p. 606.

(c) L'idée d'expliquer les changements d'éclat des étoiles variables au moyen de nuages tour à tour plus épais et plus transparents et de comparer la couleur rouge de la plupart de ces astres avec celle que prend notre soleil quand nous le voyons tout près de l'horizon est si plausible qu'elle a déjà dû se présenter maintes fois. Elle a même si irrésistiblement séduit Birmingham, cet observateur infatigable des étoiles variables, que pour rendre compte du changement dans l'épaisseur des nuages il n'a pas reculé devant l'hypothèse exorbitante d'un anneau nuageux à renflement unilatéral tournant autour de l'étoile. Cet anneau, s'il pouvait exister, devant avoir optiquement le même effet, que les nuages extérieurs tour à tour plus épais et plus transparents, que suppose ma théorie, j'en conclus que tous les arguments optiques, qui ont conduit un observateur aussi expérimenté que Birmingham à l'hypothèse de son anneau ont une valeur tout à fait égale en faveur de ma théorie. — (Birmingham: Transact. Royal Irish Ac. Vol. XXVI 1876. The red Stars, Obs. and Catalogue).

THÉORIE DU SOLEIL.

CHAPITRE I.

EXPLICATION DE L'INÉGALITÉ DANS LA VITESSE ANGULAIRE DES DIFFÉRENTES ZONES DE LA PHOTOSPHÈRE.



75. Le soleil étant constitué ainsi que d'après les idées généralement admises aujourd'hui je l'ai dépeint plus haut (1—5), je tacherai tout d'abord d'expliquer pourquoi les zones équatoriales de la photosphère tournent plus vite sur l'axe que les zones polaires^(s).

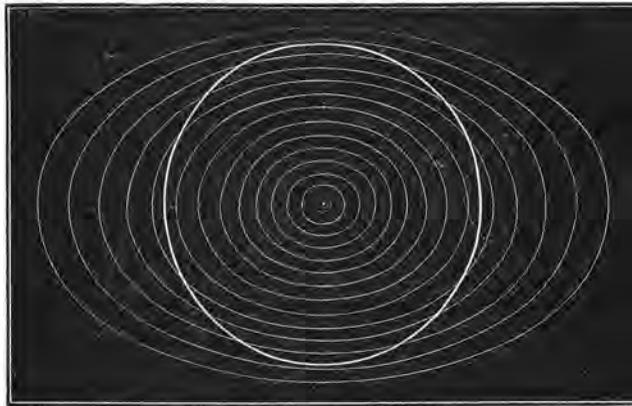
76. *La nappe photosphérique nuageuse du soleil ne présentant aucun aplatissement sensible, le soleil gazeux lui-même montre néanmoins un renflement équatorial très notable qu'on a souvent observé et constaté photographiquement.* Consultons par exemple la photographie, que Secchi reproduit dans la fig. 120 de son *Traité du Soleil*. „Une étude, même superficielle, de cette épreuve (dit Secchi) montre „que la couronne n'a pas la même étendue dans toute sa circonférence. Dans les régions polaires elle est plus étroite et sa hauteur „atteint à peine la moitié de celle qui correspond aux régions équatoriales”. Le même renflement équatorial s'observe clairement aussi dans beaucoup d'autres photographies. Citons par exemple les belles photographies exécutées par Whipple en 1869 (*t*), par M. Dietrich le 12 Déc. 1871, et tout récemment par M. Barnard durant l'éclipse

(s) Cette particularité capitale a été découverte par Carrington. B. C. Carrington: *Observ. of the Spots of the Sun, from Nov. 1853 to March 24 1861, made at Redhill* — Spoerer: *Astr. Nachr.* N^o. 1315 (1861) — Peters: *Proc. Amer. Ass. Adv. sc.* IX p. 87, 1855.

(t) Secchi: *le Soleil* I p. 340, 391 etc. — Secchi dit encore ailleurs: (*le Soleil* II p. 224, *Conclusions générales*). „Dans les zones polaires ne se trouvent jamais ces éruptions métalliques si remarquables, qui sont fréquentes dans les régions équatoriales La couche, qui renverse les raies métalliques du spectre, est bien mince, „quoiqu'elle soit plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles”. Et à la dernière page de son *Traité célèbre* (*le Soleil* II p. 482) nous lisons dans sa conclusion finale: „Cette „atmosphère du soleil a une forme comprimée, son élévation étant moins grande aux „pôles qu'à l'équateur”. Voir aussi mon *alinea* 179.

du 1^r Janvier 1889 (u). M. M. Young et Lockyer sont aussi d'accord que l'atmosphère du soleil a une forme comprimée „la couronne étant généralement moins étendue et moins brillante vers les pôles”(v). Telle était aussi l'opinion de sir John Herschel (w).

77. Pour bien faire ressortir cet aplatissement de la masse gazeuse solaire j'ai construit la figure ci-dessous, où l'on voit repré-



senté, mais fortement exagéré (106) le renflement équatorial du gaz solaire, renflement, qui s'observant dans toutes les couches superposées dont ce gaz se compose (9, 10), fait complètement défaut dans le cercle blanc, qui au milieu désigne la photosphère.

78. Si cette figure répond à l'idée unanime des grands astronomes, que je viens de citer, il y a aussi tout l'ensemble des phénomènes solaires qui nous prouve clairement que le renflement de la masse gazeuse est bien réel et que la courbure des couches gazeuses est une toute autre que celle du globe sphérique, que nous voyons.

79. Ne pouvant pas anticiper ici sur toutes les explications

(u) Edw. S. Holden: *Himmel und Erde* I p. 443. *Die Lick Sternwarte* (avec une belle photogravure). — La belle épreuve obtenue par M. Dietrich se voit reproduite par M. Oudemans: *De Sterrenhemel verklaard door F. Kaiser*, 4^e druk, 1^{ste} deel, p. 166 Plaat VI fig. 4.

(v) Young: *le Soleil* p. 173. — Lockyer: *Chemistry of the Sun* p. 424. „Since we know (dit M. Lockyer) from photographs of the eclipsed sun that the thickness of the corona is greatest near the equator”. Ailleurs (loc. cit. p. 423) M. Lockyer s'exprime ainsi: „We have seen that the atmosphere over the equator is higher than it is over the poles”.

(w) Young: *le Soleil* p. 134, 135. — Lockyer: *Solar Physics* p. 49. „Sir John Herschels beautiful theory, that the sun is actually colder at the poles, by the reason of the smaller thickness of the atmosphere in the polar regions allowing a greater radiation of heat.”

qu'on trouvera dans les chapitres suivants je ne citerai pour le moment que ces deux propriétés caractéristiques du soleil: 1^o que les métaux les plus lourds ne se montrent clairement à quelque distance de la photosphère qu'uniquement dans les protubérances des zones de son équateur (x) (76t, 123) et 2^o que les taches ont un spectre d'autant plus riche en métaux qu'elles se montrent à une distance plus grande des pôles (y) (305). Ne suffit-il pas d'un seul regard sur la figure (77) pour comprendre tout de suite ces deux particularités capitales?

80. Nous voici suffisamment préparés pour comprendre que cet aplatissement du gaz solaire (z) donne aussi l'explication de l'inégalité

(x) Secchi: le Soleil II p. 224, 147, 151, 294 etc.

(y) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 313—325.

(z) L'aplatissement du gaz solaire n'est pas sans présenter quelques difficultés à l'explication. Si, au premier abord, il paraît être dû à l'effet centrifuge de la rotation sur l'axe, le calcul prouve cependant que cet effet ne saurait rendre compte à lui seul d'un aplatissement aussi important que celui qu'on a observé en réalité. Mais il ne me semble pas difficile à comprendre que le renflement équatorial plus petit, qu'a causé tout d'abord la rotation sur l'axe, a dû augmenter depuis. Car ce renflement équatorial primitif, fonctionnant comme écran protecteur, a dû causer un ralentissement spécial dans le refroidissement des couches équatoriales plus profondes et a dû conduire ainsi à ce résultat évident, qu'à toute distance déterminée du centre la chaleur n'est nulle part aussi élevée que dans le plan équatorial. Et comme cette chaleur plus élevée, que Secchi a réellement constatée dans la photosphère (le Soleil I p. 160; II p. 284; I 203—214) doit nécessairement correspondre à une dissociation, une évaporation et une dilatation plus fortes, il est donc fort bien possible que la valeur relativement grande de l'aplatissement du gaz solaire soit due en grande partie au refroidissement plus grand que dans le cours des siècles le gaz solaire a éprouvé dans ses couches polaires, refroidissement, qui dans toute coupe méridienne du soleil doit avoir produit des isothermes ressemblant beaucoup aux courbes ellipsoïdes, qui dans la figure ci-dessus séparent les couches de composition différente.

La même explication de la chaleur plus forte à l'équateur solaire a été proposée aussi par sir John Herschel (76, w). Mais cette explication donnée, l'éminent astronome s'est évidemment trompé en supposant qu'une température équatoriale plus haute causerait là haut comme ici bas des vents alizés. Nous savons depuis longtemps que ces vents alizés solaires n'existent pas (Young: le Soleil p. 135 etc.), et il est clair aussi que, si la température plus haute à l'équateur du soleil doit être expliquée comme je l'ai fait plus haut, il n'y a dans cette température rien, qui doive nécessairement les produire. Car si sur notre terre la température plus haute à l'équateur cause bien des vents alizés, c'est parce que cette température, due au rechauffement plus grand qu'y cause à l'extérieur le soleil, y agit sur toutes les couches atmosphériques superposées à la fois et y rend par conséquent l'atmosphère entière plus légère que partout ailleurs. — Dans le soleil au contraire la température plus haute équatoriale ne se présente que dans les couches plus profondes seulement, et elle n'y produira pas nécessairement un courant ascendant, parce que si la température y est évidemment plus haute, le poids de l'atmosphère renflée à soulever y est évidemment plus grand aussi. — Si d'ailleurs, pour fixer les idées, j'ai supposé dans ce dernier alinéa la température équatoriale plus haute que la température polaire,

que Carrington et M. Spoerer ont découverte dans la vitesse angulaire des différentes zones de la photosphère. *La photosphère en effet n'étant pas sensiblement aplatie, ne montrant en tout cas aucun aplatissement certain (a), présente une forme, qui est complètement indépendante de celle des couches gazeuses aplaties, qui la supportent.*

S1. Or, cette indépendance est toute naturelle et n'a rien pour nous surprendre. Car la matière qui donne à la photosphère sa blancheur éclatante n'étant pas gazeuse et ayant par conséquent en général un poids spécifique tout autre que la couche gazeuse de l'ellipsoïde où sa condensation a eu lieu, a dû être repoussée de cette couche vers des couches nouvelles, où *en conservant sa vitesse initiale et changeant par conséquent sa vitesse angulaire* elle s'est arrêtée à une surface où les circonstances (105) et notamment le poids spécifique du milieu lui ont donné une position durable.

S2. Cette surface, qui est celle de la photosphère montre nécessairement une configuration toute autre que les couches aplaties du soleil. Car ces deux configurations (ainsi que je viens de le démontrer) sont déterminées par des causes tout à fait différentes.

S3. L'indépendance de la photosphère par rapport aux couches gazeuses aplaties étant expliquée de la sorte, il est clair que la photosphère en traversant aux diverses latitudes des couches gazeuses différentes et s'y chargeant de matières condensées venant d'un niveau d'autant plus haut et tournant par conséquent d'autant plus vite qu'elles sont plus proches de l'équateur, il est clair, dis-je, que cette photosphère doit nécessairement avoir aux diverses latitudes

cette supposition n'est pas nécessaire du tout. Car, si le gaz solaire est riche en matières dissociées et évaporées prêtes à se condenser au moindre refroidissement, le refroidissement plus grand du gaz polaire produira la contraction plus grande, que veut ma théorie, sans qu'il y ait nécessairement une baisse de la température (50—53).

(a) Auwers: Sitz. d. Pr. Ac. d. Wiss. zu Berlin 1886 p. 1125; 1887 p. 109. Neue Untersuchungen über den Durchmesser der Sonne. — La photosphère, bien loin de montrer un aplatissement certain, paraît au contraire plutôt allongée dans la direction de son axe de rotation. Auwers: Astr. Nachr. N°. 3068. Der Sonnendurchmesser und der Venusdurchmesser nach den Beobachtungen an den Heliometern der deutschen Venus—Expeditionen. «Die Rotationsaxe würde sich also 1/60000 länger als «der Durchmesser des Aequators ergeben». Je dois ajouter cependant que, d'après M. Auwers, «Alle dieses nichts anderes heisst, als dass eine Tendenz in verticaler «Richtung grösser zu messen als in horizontaler bei den Beobachtern vorgeherrschet «hat, wie sich auch unabhängig aus den vorhandenen Beobachtungen nachweisen «lässt.» Un allongement polaire éventuel n'aurait d'ailleurs que bien peu pour nous surprendre, car du moment qu'on doit admettre que les différentes zones de la photosphère tournent toutes avec des vitesses différentes, la photosphère résultante totale ne ressemble en rien à un objet tournant quelconque.

non seulement des vitesses angulaires différentes et diminuant vers les pôles, mais aussi une composition chimique, qui (tant dans la photosphère elle-même que dans l'atmosphère qui la recouvre) ne sera la même que dans deux parallèles à distances égales des deux côtés de l'équateur (b).

84. *Le gros de la masse du soleil tourne donc sur l'axe tout d'une pièce et ce n'est que dans la nappe nuageuse photosphérique qu'existent les vitesses angulaires différentes qu'a découvertes Carrington.*

85. Or voilà une déduction que de récentes observations, qui n'étaient pas encore connues lorsque je publiai ma théorie pour la première fois, ont clairement confirmée. C'est à M. Crew que ma théorie doit cet appui capital (c). M. Crew a démontré en effet au moyen du déplacement des raies de Fraunhofer que *la rotation sur l'axe du gaz absorbant solaire s'accomplit dans toutes les latitudes dans le même temps de 26,23 jours à peu près (d)*. Il constata bien une légère accélération vers les pôles (102). Mais cette légère accélération n'est même pas tout à fait imprévue; car elle est en harmonie avec l'explication, que j'ai proposée plus haut (80, z) de l'aplatissement des couches solaires, aplatissement qui dû selon moi

(b) Mon explication de l'accélération des zones équatoriales solaires s'applique aussi à celle que Cassini et Schroeter ont découverte dans le disque aplati de Jupiter. Car, si ce disque est aplati, son aplatissement est nécessairement un autre que celui des couches gazeuses où sa matière a été condensée. En étudiant les planètes extérieures dans la 4^{me} Partie de ma Théorie nous reviendrons sur la question de leur aplatissement, question qu'à propos du renflement exorbitant d'Uranus (Clerke, *Geschichte der Astronomie* 1889 p. 367) j'ai déjà posée dans mon Essai précédent. (Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles variables p. 32—33).

(c) H. Crew: *American Journ. of Science*, Sept. 1889, *Period of Rotation of the Sun* p. 204. — *Am. Journ. of Sc.* 35 p. 159. "The evidence afforded by these observations, therefore, is that no certain variation of period with latitude has been detected by the spectroscope". Les observations de M. Crew ont été faites avec le concours de M. M. Rowland et L. Bell.

(d) M. Wilsing a constaté de même qu'à toutes les latitudes les facules tournent avec une vitesse angulaire uniforme (*Publ. d. Astrophysik. Obs. zu Potsdam. Ableitung d. Rotationsbewegung der Sonne u. Positionsbestimmungen von Fackeln* 1888). Cette uniformité semble prouver de même que ce n'est qu'au niveau photosphérique qu'existent les vitesses angulaires anormales qu'a découvertes Carrington. (*Radau: Revue des deux Mondes* du 17 Avril 1889). Mais les facules sont des objets si changeants, si dépendants aussi des couches photosphériques plus profondes, qu'on ne saurait attacher une grande importance à la valeur numérique de la vitesse uniforme, qu'a constatée M. Wilsing (*Nature* 38 p. 206). Cette vitesse, égale à celle des taches là où, entre 10° et 15°, elles se montrent en plus grand nombre (100) est plus grande que celle que M. Crew a déduite du déplacement des raies spectrales.

à une contraction plus grande du gaz polaire, doit avoir communiqué à ce gaz une vitesse angulaire plus grande.

86. Mais l'observation astronomique n'est pas seulement de prime abord en concordance avec l'explication que je viens de donner (84), étudiée plus en détail, elle fera ressortir cette concordance encore plus clairement et elle nous fournira alors en outre une quantité de données numériques qui nous seront très utiles dans les chapitres suivants. C'est cette étude plus détaillée que nous commencerons maintenant.

87. La vitesse sensiblement uniforme que M. Crew a constatée dans le gaz solaire étant plus petite que celle des taches équatoriales, accomplissant d'après Carrington (e) leur rotation en 25 jours, mais plus grande que celle des taches à 40° qui demandent 27 jours, il est donc clair qu'en combinant les observations de M. Crew avec celles de Carrington et de M. Spoerer on arrive au résultat que voici :

88. *Tandis que l'atmosphère solaire tourne tout partout avec la même vitesse angulaire, les taches ont à chaque latitude une vitesse angulaire différente et ce n'est qu'à la latitude unique de 21° environ que leur vitesse est précisément égale à celle du soleil gazeux lui-même.*

89. Quelque important que soit ce résultat, gardons nous d'en conclure que, puisque les taches à 21° ont la même vitesse angulaire que le gaz solaire, les nuages photosphériques où ces taches reposent, auraient là aussi cette même vitesse angulaire. *Car la vitesse des taches ne donne pas la juste mesure de celle des nuages photosphériques qui les transportent. Les taches marchent généralement plus vite.* La réalité de cette particularité (qu'il me sera d'ailleurs facile d'expliquer plus tard (243, 244)) peut être démontrée de la manière suivante.

90. Tous les astronomes sont d'accord que tant qu'une tache existe il lui arrive de temps en temps d'avancer brusquement, beaucoup plus vite que ne le demande la loi de Carrington et Spoerer. Voici par exemple ce que M. Young nous apprend (f) : „Toutes les fois qu'une tache subit des changements soudains, elle s'avance ordinairement sur la surface solaire en faisant presque un saut”. Et Secchi s'exprime ainsi (g) : „Toutes les fois qu'une tache se divise

(e) Lockyer: Chem. of the Sun p. 425. Curve showing the period of rotation of the photosphere in different latitudes north and south, from Carrington's observations.

(f) Young: le Soleil p. 110.

(g) Secchi: le Soleil I p. 141.

„ou qu'elle subit un changement considérable dans sa forme on observe toujours un mouvement brusque, une espèce de saut, qui se fait invariablement vers la partie antérieure, c'est à dire dans le sens où croissent les longitudes. Les grandes taches, même lorsqu'elles ont une longue durée ne sont pas exemptes de ces mouvements brusques, et l'on remarque de temps en temps des recrudescences dans la force ou dans le mouvement qui les produit”.

91. Ces accélérations accidentelles se rattachent d'ailleurs à un mouvement propre des taches et ne sont pas dues à une accélération temporaire dans la nappe photosphérique, qui les transporte. Car lorsque les taches forment des groupes, jamais elles ne montrent une accélération commune, mais gardent toujours leur individualité (*h*).

92. Nous commettrions donc une grave erreur en assimilant la vitesse des taches avec celle des nuages photosphériques. Si cependant nous croyons pouvoir admettre que tant que les taches ne changent pas sensiblement de forme elles ont la même vitesse que ces nuages, alors, toutes les fois qu'elles changent bien de forme, elles tourneront plus vite. Et comme la loi de Carrington et Spoerer n'a pu être déduite que du mouvement moyen des taches, d'un mouvement par conséquent d'où (même avec la meilleure volonté possible (*i*)) l'influence des accélérations décrites (et d'ailleurs peut-être plus ou moins permanentes) n'a pu être complètement éliminée, on comprendra donc aisément que la vitesse angulaire des taches telle qu'elle résulte de cette loi doit être plus grande que celle des nuages photosphériques.

93. Si c'est par conséquent à la latitude de 21° que l'atmosphère solaire a la même vitesse angulaire que les taches, les nuages photosphériques y tournant plus lentement, ce sera à une latitude plus petite où ces nuages tourneront aussi plus vite, que cette atmosphère égalera ces nuages en vitesse (102). Nous désignerons cette latitude plus petite, où la vitesse des nuages photosphériques est absolument égale à celle du gros de la masse solaire par *l*.

94. Ma théorie fera voir plus tard (277—287) que cette latitude *l* doit se trouver entre les parallèles de 15° à 10° , c'est à dire dans la zone où, d'après les observations, que M. Spoerer (*j*) a con-

(*h*) Spoerer: Sonnenfleckenbeobachtungen in den Jahr. 1880—84, Publ. des Astrophys. Observ. zu Potsdam Bd. IV 4 p. 422. „Die Beobachtungen haben ergeben, dass im östlichen Theile einer Gruppe niemals übergrosse Rotationswinkel vorkommen Uebergrosse Rotationswinkel kommen vor bei neu entstandenen Flecken und an der Westgrenze der Gruppen (d. h. in der Rotationsrichtung vorangehend).”

(*i*) Spoerer: loc. cit. p. 425.

(*j*) Spoerer: loc. cit. p. 414.

tinuées durant plus d'un quart de siècle, les taches se produisent le plus abondamment (100). Il n'en est que plus remarquable que nous parviendrons déjà maintenant au même résultat en étudiant les observations récentes de M. Duner (*k*).

95. Tout comme M. Crew, M. Duner a cherché à déterminer la vitesse angulaire du gaz absorbant solaire au moyen du déplacement des raies de Fraunhofer. Mais il a obtenu un résultat tout autre; car au lieu de trouver une vitesse angulaire tout partout la même, il a découvert au contraire que cette vitesse changeait avec la latitude et diminuait tout comme celle des taches à mesure que la latitude augmentait.

96. Au premier abord les observations de M. Duner et celles de M. Crew semblent se contredire et celles de M. Crew semblent s'effacer alors en présence des observations plus exactes de M. Duner. Mais en les étudiant de plus près il n'est pas difficile de se rendre compte de leur contradiction apparente. Tout le monde sait en effet que „toutes les raies de Fraunhofer ne sont pas dues uniquement „ou même principalement à la couche de gaz situé au dessus du „niveau supérieur de la photosphère. S'il en était ainsi (dit M. „Young (*l*)) les raies sombres devraient être beaucoup plus fortes „dans le spectre de la lumière qui vient du bord du disque que dans „celui de la lumière du centre et cela n'a pas lieu; du moins la „différence est très petite. La photosphère étant composée de masses „nuageuses séparées flottant dans une atmosphère qui contient les „vapeurs dont la condensation forme ces nuages, *la principale absorption a donc probablement lieu dans les interstices entre les nuages „et au dessous du niveau général de leur limite supérieure*”.

97. Or il est évident que dans „les interstices de ces nuages” le gaz absorbant aura pris à la longue la vitesse que lui auront communiquée ces nuages eux-mêmes; et il produira par conséquent des raies de Fraunhofer accusant des vitesses diminuant avec la latitude. Il n'y a que les raies, qui sont produites au dessus du niveau général de la photosphère qui puissent faire connaître le mouvement réel du gaz solaire.

98. Il doit y avoir par conséquent dans le spectre solaire, outre les raies telluriques, que la rotation du soleil laisse immobiles, deux catégories de raies solaires que cette rotation déplace différemment.

(*k*) N. C. Duner: Sur la rotation du Soleil. Note communiquée le 12 Février 1890, Astron. Nachr. N^o. 2968.

(*l*) Young: le Soleil p. 63. — Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne p. 194, 196 etc.

À la première catégorie appartiennent les raies que l'absorption produit *au dessous* du niveau supérieur de la photosphère. Elles montreront le déplacement qu'a observé M. Duner. A la seconde catégorie appartiennent les raies que l'absorption produit *au dessus* du niveau supérieur de la photosphère. Elles montreront le déplacement qu'a observé M. Crew (25). En concordance avec cette explication nous trouvons en effet que des dix raies que M. Crew a particulièrement étudiées, sept au moins se trouvent dans le catalogue des 273 raies, que sur le Mont Sherman M. Young a vues renversées à l'extérieur de la photosphère (*m*), tandis que ce catalogue ne montre trace des deux raies ferriques 6301.72 et 6302.72, dont M. Duner s'est uniquement occupé.

99. Si mon explication est juste, c'est donc la vitesse de l'atmosphère solaire, qui a été déterminée par M. Crew, tandis que c'est celle des nuages photosphériques, qui a été découverte par M. Duner. Je sais bien que parmi les raies qu'a étudiées M. Crew il y en a aussi, qui tout comme celles de M. Duner appartiennent au fer (*n*) mais cette parenté n'offre ici aucune difficulté. Car j'ai fait voir plus haut (25) que l'analyse spectrale a démontré clairement que dans le soleil il y a des principes ferriques dissociés, qui triés par la gravitation en couches superposées montreront souvent leurs raies différemment déplacées. Il n'est donc nullement surprenant que M.M. Duner et Crew aient constaté un déplacement différent pareil. Et ces observations récentes sont sous ce rapport tout aussi compréhensibles que les observations déjà anciennes de M. Lockyer, qui vit quelquefois certaines raies du fer montrer un déplacement accidentel, alors *qu'en même temps* d'autres raies du même métal ne révélaient aucune perturbation ou en révélaient une toute autre (*o*).

100. Il n'y a donc en somme aucune difficulté à admettre que les vitesses différentes qu'aux diverses latitudes M. Duner a trouvées dans le gaz absorbant solaire ne sont pas celles de l'atmosphère solaire mais des couches photosphériques. Leurs valeurs numériques répondent alors complètement aux prévisions de ma théorie. Car elles démontrent avec évidence 1^o que les couches photosphé-

(*m*) Young: Am. Journ. of Sc. (3) 4. p. 356—363. — Scheiner: die Spectralanalyse der Gestirne 1890. p. 198. — Les sept raies, qu'a étudiées M. Crew, et qu'on retrouve dans le catalogue des raies chromosphériques, que M. Young a vues renversées sur le Mont Sherman sont les raies "1474", 5166, 5172, D₁, D₂, E₁ et E₂.

(*n*) H. Crew: Am. Journ. of Sc. 35 p. 169.

(*o*) Lockyer: Chem. of the Sun p. 314, 348, 400, etc. — Young: le Soleil p. 77.

riques tournent tout partout moins vite que les taches (*p*) (89—92) et 2^o que c'est à la latitude $l = 11^{\circ}$ que se trouve la parallèle unique où la vitesse des nuages photosphériques est précisément égale à celle de l'atmosphère qui les recouvre. Si ma théorie est vraie, cette parallèle doit se trouver dans la zone où les taches se montrent en plus grand nombre. Or d'après les observations de M. Spoerer elle s'y trouve évidemment. Car en comptant les taches que M. Spoerer a observées durant à peu près un quart de siècle (*q*) on arrive, quant à leur distribution en zones, et en prenant la somme des taches dans les deux hémisphères, au résultat, que voici :

TACHES OBSERVÉES PAR M. SPOERER DE 1855 à 1879.

| Latitude des zones. | Nombre des taches produites dans chaque zone. |
|---------------------|---|
| 0—5 | 471 |
| 5—10 | 1940 |
| 10—15 | 2522 |
| 15—20 | 2158 |
| 20—25 | 1303 |
| 25—30 | 740 |
| 30—35 | 203 |
| 35—40 | 84 |

101. Ce résultat des observations de M. Spoerer (271) deviendra surtout frappant et réellement démonstratif lorsque j'aurai expliqué plus loin (277—287) pourquoi les taches ne peuvent se montrer que dans la zone où la vitesse des nuages photosphériques ne diffère que peu de celle de l'atmosphère qui la recouvre. Car, cette explication donnée, nous verrons que mon interprétation des observations de M. Duner (déjà possible en tout cas comme je l'ai démontré plus haut (96—99)) est tout ce qu'il faut pour nous dévoiler le mystère de l'apparition des taches en deux zones parallèles situées à distances égales des deux côtés de l'équateur.

(*p*) Duner: Astr. Nachr. N^o. 2968. p. 270.

(*q*) Spoerer: Sonnenfleckenbeobachtungen, Publ. d. Astrophys. Obs. zu Potsdam IV. 4. p. 198. (Beide Halbkugeln: Minimum 1856 K bis Minimum 1878 B.) — Il ne faut pas confondre d'ailleurs la latitude de 11^o environ, où les taches se montrent en plus grand nombre, avec la latitude moyenne des taches au maximum, latitude moyenne, qui est alors le plus souvent peu différente de 16^o. (300).

102. Les vitesses angulaires différentes, que les considérations précédentes ont fait connaître dans la photosphère et dans le gros de la masse gazeuse du soleil, se trouvent réunies dans le tableau suivant :

ROTATION DU SOLEIL.

Angle de rotation diurne.

| Latitude | I. <i>Taches</i> (Carrington). | Différence. I—II. | II. <i>Atmosphère</i> (Crew). | Différence. III—II. | III. <i>Photosphère</i> (Duner). |
|----------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| 0 | 14.46 | + 0.74 | 13.72 | + 0.42 | 14.14 |
| 11 | 14.29 | + 0.49 | 13.80 | 0 | 13.80 |
| 15 | 14.13 | + 0.28 | 13.85 | — 0.19 | 13.66 |
| 21 | 13.90 | 0 | 13.90 | — 0.50 | 13.40 |
| 30 | 13.65 | — 0.33 | 13.98 | — 0.92 | 13.06 |
| 45 | 13.10 | — 1.02 | 14.12 | — 2.13 | 11.99 |
| 60 | | | 14.25 | — 3.63 | 10.62 |
| 75 | | | 14.38 | — 5.04 | 9.34 |

103. Si tous les chiffres dans ce tableau n'ont pas le même degré d'exactitude, si ceux que nous devons à M. Crew semblent par exemple moins certains que ceux que M. Duner a déterminés suivant une méthode d'observation évidemment meilleure, dans leur ensemble ils rendent cependant clairement mon idée, et répondent parfaitement aux considérations mécaniques, qui nous guideront plus loin.

104. Je dois les accepter aussi dans l'élucidation de l'explication déjà donnée plus haut (81) de la formation de la nappe photosphérique, et ils nous prouvent alors que, tandis que dans la parallèle de 11° les nuages photosphériques planent encore toujours au même niveau, où ils ont pris naissance, aux latitudes plus petites, ces nuages ont dû descendre d'un niveau plus haut à vitesse plus grande, et aux latitudes plus grandes ils ont dû remonter d'un niveau plus bas à vitesse plus petite (*r*).

(*r*) On connaît les tentatives déjà faites depuis longtemps par M. M. Faye, Young, J. Herschel et Zöllner pour expliquer l'inégalité dans la rotation des différentes zones photosphériques. M. Faye l'a attribuée à la formation de la photosphère au moyen d'une matière *montant de bas en haut*; M. Young l'a attribuée au contraire à une matière *tombant de haut en bas*; J. Herschel était disposé à l'attribuer à l'impulsion de matières météoriques venant frapper la surface solaire surtout dans le voisinage de l'équateur; Zöllner l'expliquait comme due au frottement entre une nappe liquide, constituant la photosphère, et un noyau solide au dessous. On connaît aussi les expériences curieuses de M. Belopolsky (Astr. Nachr. N°. 2954) avec des vases sphéri-

105. Pour expliquer cette différence manifeste dans l'origine des différentes zones de la photosphère et rendre compte de la forme sensiblement sphérique de la nappe, qui résulte de leur assemblage, il faudrait connaître le poids spécifique de la matière photosphérique et celui du gaz où cette matière s'est condensée; et il faudrait mieux connaître en outre les circonstances encore assez mystérieuses, qui dans notre propre atmosphère déterminent la hauteur des nuages. Mais, quelque grande que soit encore notre ignorance à cet égard, on voit pourtant déjà maintenant, qu'une matière photosphérique quelconque, se condensant dans les 2^{me}, 3^{me}, ou 4^{me} couches extérieures représentées dans la figure (77) naîtra dans un gaz d'autant plus froid, d'autant plus dense et éprouvera par conséquent une poussée de bas en haut d'autant plus forte, qu'elle se formera plus loin de l'équateur. Si par conséquent la densité plus petite des zones équatoriales de ces couches n'a pu empêcher la matière photosphérique de s'y enfoncer dans la profondeur, il n'est donc nullement surprenant que la densité plus grande de leurs zones polaires puisse avoir fait monter cette même matière vers un niveau plus élevé (s).

ques de verre communiquant au liquide dont ils étaient remplis, des vitesses angulaires différentes qui ressemblaient beaucoup à celles de la surface solaire lorsque ces vases avaient le mouvement de rotation requis. D'après une idée récente de M. Wilsing (Astr. Nachr. N°. 3039, April 1891) le gros de la masse solaire tournerait tout d'une pièce, mais les couches photosphériques montreraient cependant des vitesses angulaires différentes parce que ces vitesses leur auraient été communiquées par l'immense enveloppe gazeuse, où ces différentes vitesses, qu'il fallait expliquer, existeraient tout simplement comme l'effet d'une impulsion primordiale complètement mystérieuse. — Il est clair que mon explication se rapproche le plus de celles de M. M. Faye et Young (Young: le Soleil p. 105—109) et que, si mon explication est juste, celles de M. M. Faye et Young, au lieu de se contredire, se complètent au contraire en nous dévoilant chacune la moitié de la vérité.

(s) Il n'est pas difficile de s'imaginer que le poids spécifique de la matière condensée photosphérique puisse être plus petit que celui du gaz solaire fortement comprimé, qui se trouve dans la profondeur. Car, le gaz solaire étant en moyenne plus dense que l'eau, est beaucoup plus dense aussi qu'un grand nombre de corps solides ou liquides qui, comme le sodium par exemple n'y pourront flotter par conséquent qu'à une distance déterminée du centre. Généralement on suppose que le gros de la masse solaire serait confiné par la photosphère à l'extérieur de laquelle il n'y aurait qu'une atmosphère prodigieusement raréfiée. Mais je ferai voir plus loin (177—228) que cette supposition ne repose sur aucun argument convaincant, et qu'il est au contraire infiniment plus probable que même jusque dans les régions éloignées de la couronne le gaz solaire conserve une densité très sensible. Or, si tel est le cas, la densité moyenne du gaz solaire sera plus petite qu'on ne l'a adoptée jusqu'aujourd'hui; mais la densité des couches où flotte la photosphère sera infiniment plus grande. Ces couches ne sont pas seulement très denses, mais elles sont aussi très chaudes; et « puisque, comme Maxwell et d'autres l'ont fait voir, la viscosité d'un gaz augmente rapidement avec son élévation de température, il est probable qu'elles

106. Le calcul prouve, qu'en négligeant l'effet du frottement mon explication demande un aplatissement des couches solaires d'un peu plus de $\frac{1}{6}$, un aplatissement par conséquent plus de deux fois moins considérable que celui qu'on voit représenté dans ma figure (77) et à peu près exactement égal à celui qu'on observe dans les photographies déjà citées plus haut (76) et obtenues par Secchi, Whipple, Dietrich et récemment par M. Barnard en photographiant le soleil éclipsé lui-même.

107. En terminant ici ce chapitre, je dois faire remarquer encore que les explications qu'il contient n'ont pas été données ici en premier lieu parce qu'elles auraient pour le reste de ma théorie une importance capitale, mais uniquement parce qu'elles me semblaient éminemment propres à élucider *plusieurs faits, qui indépendamment d'ailleurs de l'explication que j'ai cru pouvoir leur donner, sont du premier ordre dans l'économie solaire et joueront un rôle prépondérant dans mes explications des chapitres suivants.*

«résisteront au mouvement comme une masse de poix ou de mastic». (Young: le Soleil p. 233). Les vitesses que M. M. Carrington et Spörer ont déterminées (75, 102) étant de dates relativement récentes, nous ne savons pas avec certitude si elles sont réellement constantes. Si tel était le cas, il faudrait admettre une arrivée incessante de matière photosphérique nouvelle pour expliquer l'impuissance du frottement à modifier le mouvement. (Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles Variables p. 13).

CHAPITRE II.

EXPLICATION DES PROTUBÉRANCES.

§ 1.

Explication des protubérances comme des lueurs passagères dans la matière tranquille.

108. Ayant fait voir dans mon Introduction ce que d'après mon Principe I les protubérances ne sont pas (30—43), j'expliquerai maintenant ce que d'après mon Principe II les protubérances sont bien.

109. *Les protubérances sont des luminescences passagères là où dans l'atmosphère tranquille du soleil des éléments jusqu'ici dissociés se combinent dès que leur perte continuelle de chaleur le permet.*

110. Bien loin de causer des déplacements fabuleux elles fonctionnent au contraire comme un frein automatique puissant empêchant tout mouvement qu'une diminution de température pourrait causer (50—53). En expliquant mon Principe II le fonctionnement de ce frein automatique a déjà été étudié. Nous avons vu alors que le refroidissement continu des astres, en causant dans leurs couches extérieures une transformation intermittente de l'énergie chimique en chaleur, produit dans ces couches des éruptions de chaleur périodiques. A l'extérieur du soleil ces éruptions de chaleur ne se produisent pas dans tout les points d'une même surface à la fois, mais se subdivisent en une série d'éruptions locales (67). Dans les protubérances nous voyons l'effet de ces éruptions de chaleur locales. *Leurs mouvements rapides et leurs changements de forme ne sont donc pas causés par le déplacement de la matière lumineuse elle-même, mais par le déplacement de l'état luminescent dans la matière tranquille.*

111. Rappelons nous, qu'en supposant que ce sont les éléments A et B qui se combinent dans les protubérances, cette combinaison n'aura lieu en général que lorsque le refroidissement aura suffisam-

ment condensé les molécules $A B + R$ qui les séparent (62) et que, cette combinaison ayant lieu, la chaleur alors produite séparera de nouveau ces molécules $A B + R$ nouvellement condensées pour leur rendre de nouveau la propriété d'empêcher la combinaison des molécules A et B restantes.

112. Si cette explication est vraie alors *les protubérances doivent être causées par des condensations intermittentes*. Si ces condensations étaient chimiques, comme je le croyais encore en publiant mon dernier Essai (a), si elles étaient analogues par ex. à celle qui dans le gaz détonant enflammé réduit trois molécules du mélange à deux molécules de vapeur d'eau ($2 H_2 + O_2 = 2 H_2 O$), il serait bien difficile de les constater. Mais ces condensations sont physiques heureusement, car elles produisent une poussière nuageuse, qui étant parfaitement visible dans les protubérances lorsqu'on les observe durant une éclipse totale du soleil, démontre avec évidence que ma théorie est ici en concordance parfaite avec la réalité.

113. Cette poussière nuageuse est visible en effet parce qu'elle est une source de lumière blanche à spectre continu. Cette lumière blanche a été surtout étudiée par M. Tacchini durant les éclipses de 1870, 1883 et 1886 (b). Elle ne peut être constatée du reste que durant les éclipses, car en observant les protubérances en plein jour d'après la méthode spectroscopique de M. M. Janssen et Lockyer on doit nécessairement l'éliminer.

114. Durant l'éclipse du mois d'Aôut 1837 la lueur blanche des protubérances a fait l'objet d'une étude spéciale de M. Handrikof. Cet astronome constata alors 1^o qu'il y a plusieurs protubérances que le spectroscopie efface complètement, 2^o que ce que le spectroscopie nous fait voir des protubérances ordinaires n'en est pour ainsi dire que le squelette. La lueur blanche des protubérances a été très bien vue aussi par M. Swift durant l'éclipse du 1^r Janvier 1889 (c) (239, 240).

(a) Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles variables p. 36.

(b) Tacchini: *Rapporti dell'eclisse del 1870 tav. V.* — Secchi: *le Soleil II p. 78.* (Comparaison entre les figures spectrales des protubérances et celle qu'on observe directement pendant les éclipses, fig. 175 et 174.) — P. Kempf: *Die Beschaffenheit der Sonne; Himmel und Erde Oct. 1889 p. 35.* — A. M. Clerke: *Geschichte der Astron. p. 248.* — Hastings: *Am. Journ. of Science Jan. 1881.* — Lockyer: *Chem. of the Sun p. 407.*

(c) *Himmel und Erde, Oct. 1889 p. 35* — M. G. Hale vient d'appeler de nouveau l'attention sur les protubérances blanches de Tacchini. Il propose de les étudier au moyen de la photographie. (G. Hale: *Astr. Nachr. N^o. 3053.* On results obtained in photographing solar prominences and their spectra): "... As these invisible prominences

115. L'éclipse totale de 1842, durant laquelle les protubérances furent pour la première fois scientifiquement observées et baptisées du nom qu'elles portent encore aujourd'hui, a démontré tout de suite que toutes les protubérances ne sont pas constamment de couleur rose ou fleur de pêcher, mais qu'il y en a aussi qui sont blanches un certain temps et ne montrent de couleur qu'avant et après l'apparition d'une blancheur passagère. C'est Littrow qui le premier a décrit cette particularité capitale (*d*). Durant l'éclipse de 1851 la protubérance rose principale était blanche à la base et d'après Carington blanche aussi à son sommet (recourbé) (*e*). Liais décrit les protubérances comme „des nuages tantôt rouges et tantôt blancs” (*f*).

116. L'opacité des protubérances semble indiquer de même qu'elles contiennent souvent une matière poussiéreuse. Lorsque dans les protubérances, dit Secchi (*f*¹) „deux jets d'hydrogène incandescent „se croisent, ils n'ont pas un éclat plus vif au point d'intersection, „ce qui arriverait cependant si les rayons émanés de celui qui est

„are strong in H and K light it is evident that they may be photographed as readily „as the others have been and it is expected that some way be found when search „is made with a new apparatus for the purpose. A method of rendering visible what „has heretofore remained concealed cannot fail to be useful in further studies of the „sun”. — Am. Journ. of Science, Aug. 1891: „In the report of the eclipse of Jan. „1889, published by the Lick observ., Dr. Swift alludes to the peculiar white appearance of some of the prominences and in comparing the prominences photographed „at the same eclipse with those observed on the same day at Palermo, P. Tacchini „notes the presence in the photographs of two prominences seen neither at Palermo „nor Rome, and concludes that they are white prominences similar to the great white „prominence shown in the Grenada photographs. (Atti della R. Accad. dei Lincei 1889).

(*d*) Arago : Annuaire 1846 p. 460. — Lockyer : Solar Physics p. 108. „Littrow saw them change from white to red and from red to violet and then back again through the reverse order.” — „Einige Augenblicke vor dem Wiedererscheinen der Sonne, „sah Petit in Montpellier eine neue Flamme sich erheben, doch war dieselbe weiss”. (Klein : Das Sonnensystem p. 36). „J. J. Schmidt, der diese Finsternis zu Rastenburg „beobachtete, sah 7 bis 10 secunden, nachdem der letzte Sonnenstrahl verschwunden „war, die erste Protuberanz aus einem weisslichen Fleck an der Basis der Corona „hervortreten.” (Klein : ibid. p. 37). — M. Stoney admet aussi que dans les protubérances il y a un brouillard. „It appears probable therefore that the protuberance „which was most examined consisted of such a mist giving a diffuse and inconspicuous spectrum, and of the intensely heated air entangled in it giving rise to a „spectrum of bright lines.” G. Johnstone Stoney : Phil. Mag. Dec. 1868 p. 450.

(*e*) Secchi : le Soleil I p. 373—376.

(*f*) Liais : l'Espace céleste et la Nature tropicale p. 55. — M. Fényi vit récemment dans une protubérance „un point, qui était la source d'un spectre continu, un léger „trait de lumière traversait en effet tout le champ visuel : spectacle nouveau, qui „dura plusieurs minutes”. (Compt. Rend. 17 Août 1891).

(*f*¹) Secchi : le Soleil II p. 239.

„en arrière pouvaient traverser l'autre: ils se cachent réellement „l'un l'autre comme des corps opaques”.

117. Il y a du reste beaucoup d'autres phénomènes encore qui nous prouvent que dans l'atmosphère solaire les apparitions intermittentes de lumière blanche à spectre continu ne sont pas rares du tout. Citons par exemple 1^o l'apparition et la disparition soudaines de rayons coronaux (169); 2^o les éclairs que Zöllner et Vogel ont vus parcourir le spectre des protubérances dans toute son étendue, ressemblant, dit Zöllner, à des décharges d'électricité (*g*); 3^o les éclairs intermittents que Peters a décrits comme traversant quelquefois l'ombre des taches avec des vitesses d'au moins 200 millions de mètres par seconde (*h*); 4^o la scintillation que M. Trouvelot a remarquée au dessus de l'ombre des taches y faisant l'effet de neige tombant par rafales (*i*); 5^o les plaques d'un éclat intense que Carrington et Hodgson ont vues exister quelques minutes sur le bord d'une tache se déplaçant avec des vitesses allant jusqu'à 33 lieues par seconde (*j*); 6^o (last not least) les voiles roses que Secchi a souvent observés à l'intérieur des taches et évidemment produits d'après lui *par la transformation d'une matière blanche préexistante* (*k*).

118. Si la lueur blanche des protubérances (et surtout son caractère intermittent) peut être considérée comme une vérification éclatante de ma théorie parce que je la postulais déjà avant de la connaître; leur lueur rose ou fleur de pêcher appartient à un tout autre ordre de phénomènes. Car, si c'est une *condensation nuageuse* (des molécules $A B + R$) qui produit la lueur blanche, c'est une *combinaison chimique* (des mol. A et B) qui produit la lueur colorée.

119. Cette lueur colorée a donc une même origine que celle

(*g*) F. Zöllner: Beobachtungen von Protuberanzen der Sonne, Spectralanalyse von Roscoe 1890 p. 273.

(*h*) Peters: Proc. of the Amer. Ass. for the Adv. of Science Vol. IX. — Young: le Soleil p. 96.

(*i*) Trouvelot: Bulletin astr. Vol. II. — Lockyer: Chem. of the Sun p. 411.

(*j*) Carrington: Monthly Not. Nov. 1859. — Young: le Soleil p. 93.

(*k*) Secchi: le Soleil I p. 104. „Y a-t-il dans ces phénomènes (dit Secchi) une transformation réelle d'arcs brillants en voiles rouges, ou bien faut-il y voir une superposition purement accidentelle? Pour résoudre cette importante question nous avons avec beaucoup de soin surveillé et étudié les taches et nous avons pu nous assurer que les courants lumineux se transforment quelquefois en voiles roses. Le 23 Janv. 1866 nous examinâmes une tache en forme de ∞ ; deux jets de langues brillantes s'élançaient de part et d'autre et paraissaient devoir la diviser par un pont. Cinquante minutes plus tard les langues de feu s'étaient effilées à leur extrémité. Au bout de dix minutes on les vit transformées en voiles (fig. 53, 54, 55). „On ne saurait donc douter de la réalité de cette transformation”.

qu'on observe dans nos flammes ordinaires. Il est clair cependant que les circonstances sont un peu différentes. Car dans nos flammes ordinaires l'éclat lumineux est dû en grande partie au rehaussement de la température. Or j'ai fait voir plus haut que dans l'atmosphère solaire tout rehaussement de température est impossible parce que tout surcroît de chaleur y devient immédiatement latent (50—53). Si la lumière de nos flammes ordinaires était donc due entièrement au rehaussement de la température, il serait impossible de la comparer avec celle des protubérances. Mais les recherches récentes de M.M. E. Wiedemann, R. von Helmholtz (*l*) et d'autres physiciens cités plus haut (56) ont prouvé que dans nos flammes la luminosité ne dépend qu'en partie de la température, et qu'un gaz par exemple où une combinaison chimique s'opère sera plus lumineux qu'un autre où, même à température plus haute, une telle combinaison n'a pas lieu. Cette luminosité „irrégulière" qu'on a nommée *luminescence* (et qu'on voit jouer un si grand rôle dans les phénomènes de phosphorescence) est généralement attribuée à une vibration particulière des atomes à l'intérieur de molécules nouvellement formées.

120. Or si dans le gaz solaire la combinaison chimique des atomes est incapable de produire la moindre luminosité régulière comme effet d'un rehaussement de température; il n'y a aucune raison pourquoi cette combinaison chimique n'y produirait pas cette luminosité irrégulière, qui indépendante de la température, se distingue dans toute flamme comme une luminescence et rend phosphorescents tant de corps que nous connaissons (*m*).

(*l*) R. v. Helmholtz: Die Licht — und Wärmestrahlung verbrennender Gase, Berlin 1890.

(*m*) Cette „luminosité irrégulière" est analogue à celle qui caractérise aussi certains autres changements moléculaires, à celle par ex. que produit la solution chlorhydrique de l'anhydride arsénieux en cristallisant (Graham Otto: Lehrb. d. Phys. u. Theor. Chemie 2^e Aufl. p. 410). On l'observe aussi dans les tubes relativement froids de Geissler. Parmi les corps phosphorescents je citerai par ex.: la paraldéhyde, la métaldéhyde, la lophine, l'essence d'amandes amères et beaucoup d'autres aldéhydes aromatiques, les terpènes et d'autres carbures d'hydrogène encore, qui tous deviennent lumineux lorsqu'en présence d'un alcali ils se combinent avec l'oxygène (Radziszewski: Liebigs. Ann. 1880 p. 315.— Hjelt: Grundzüge der allgemeine Org. Chemie p. 92). Phosphorescent est aussi l'étain, lorsque attaqué par l'acide azotique il luit quelquefois dans l'obscurité (Pélouse et Frémy: Chimie générale III p. 67). Tels sont aussi les principes, qui font phosphorescer tant d'êtres organisés. Tels sont aussi le phosphore (ou l'anhydride phosphoreux, Thorpe: Nature XLI p. 523) et l'oxygène, qui alors surtout produisent un phénomène sous bien des rapports analogue aux protubérances lorsqu'en refroidissant d'après la méthode de Mitscherlich un

121. Les protubérances du soleil nous montrent par conséquent une belle illustration de la nouvelle théorie de l'émission irrégulière de la lumière (66), une illustration moins palpable, il est vrai, mais beaucoup plus belle que celle qu'a fait connaître M. Langley, l'observateur éminent du soleil, en observant les vers luisants! (*)

122. Il résulte des explications données dans ce paragraphe qu'en considérant les protubérances comme des lueurs passagères dans la matière tranquille, ni leur lueur blanche de temps en temps, ni leur lueur le plus souvent colorée ne présentent à l'explication de difficultés sérieuses. Car ces lueurs répondent non seulement aux prévisions de ma théorie elles répondent aussi aux données récentes de la Science.

122 bis. J'avais déjà terminé ce paragraphe lorsque les Annales de Wiedemann du 15 Mars dernier me firent connaître les expériences toutes récentes de M. Pringsheim, expériences, qui ont mieux fait ressortir encore que celles déjà citées plus haut (119) l'importance des procès chimiques dans la formation de la lumière qu'émettent les gaz incandescents. Cette importance serait, d'après M. Pringsheim, même tellement grande que sans ces procès chimiques ces gaz n'émettraient pas de lumière du tout (n¹). Ces faits nouveaux donnent à ma

tube rempli de vapeur d'eau chargée de vapeur de phosphore on voit apparaître des lueurs phosphorescentes voltigeant là où le refroidissement les produit.

Avant de connaître les études récentes de luminescence, je comparais les lueurs passagères dans l'atmosphère solaire à celles qui dans notre propre atmosphère accompagnent là aussi si souvent la condensation en nuages, en pluie et en grêle, et qui considérées comme des manifestations de l'électricité sont, tout comme cette électricité elle-même, non la cause mais l'effet du trouble atmosphérique. (D. L. Pfandler : Muller Pouillet's Lehrb. d. Phys. u. Meteor. 1890 p. 307). M. Cornu, dans une note jointe à une communication très intéressante de M. Minary a suggéré une explication analogue de la luminosité de la trajectoire des *étoiles filantes* dans les régions supérieures de l'atmosphère terrestre. D'après cette explication (Comptes Rendus 1889 CVIII p. 340) «cette luminosité pourrait être attribuée à un développement ou à une décharge d'électricité statique sans une élévation considérable de la température». Nous reviendrons sur l'explication du phénomène des *étoiles filantes* (220) dans une des dernières Parties de ma Théorie.

(*) Langley and Very : «On the cheapest form of light». Am. Journ. of Sc. 1890, Vol. 40 p. 97—113. — F. S. Archenhold : Der Leuchtkäfer als billigster Lichtfabrikant, Himmel und Erde Dec. 1890 p. 137.

(n¹) Pringsheim : Wied. Ann. 45, p. 428 (1892). M. Pringsheim arrive à la conclusion que voici : «Wir kennen keinen einzigen Vorgang, bei dem gasformige Elemente durch blosse Temperaturerhöhung ohne electricische oder chemische Energie zum leuchten gebracht werden. Andererseits ist man durch die Betrachtung der Leuchtprocesse genöthigt anzunehmen, dass Electricität und Chemische Umsetzung für sich allein im Stande sind, ohne Rücksicht auf die Temperatur Leuchten von

théorie un nouvel appui. Car si les expériences de M. Pringsheim démontrent qu'un même gaz produira des raies spectrales ou ne les produira pas selon qu'à température égale il sera oui ou non le siège d'un procès chimique, nous voyons là une belle confirmation de ma théorie des protubérances et la solution définitive d'une difficulté qu'il m'était impossible de dénouer moi-même lorsqu'en 1888 je publiai ma théorie pour la première fois, (*n*²) la difficulté d'expliquer comment il se fait que *les protubérances puissent être plus lumineuses que les parties environnantes de l'atmosphère solaire sans être plus chaudes.*

„Gasen hervorzubringen. Daher liegt gar kein experimenteller Grund vor noch die neue, durch keine bekannte Erscheinung geforderte, Hypothese hinzuzunehmen, dass Gase durch blosse Temperaturerhöhung leuchtend werden und es erscheint mir daher richtiger, wenn man versucht ohne diese Annahme auszukommen, auch wenn es sich, wie in der Astrophysik, um Temperaturen handelt, bei denen eine directe experimentelle Widerlegung jener Hypothese nicht möglich ist.“ — Voir aussi: W. Siemens; Wied. Ann. 18 p. 311 (1888) — Nature, Jan. 28, 1892 p. 312.

(*n*²) Essai d'une Explication Chimique des principaux Phénomènes lumineux stellaires, Delft Juillet 1888, p. 13. — Ici comme ailleurs ma théorie m'a fait prévoir des phénomènes, qui m'étaient complètement inconnus lorsque je la développais. C'est surtout la vérification inopinée de ces prévisions qui convaincra, j'espère, un jour „les autres.“ Cette vérification est ici d'autant plus importante qu'une *théorie n'est jamais une vérité, qu'on puisse forcer d'accepter.* Même à la meilleure théorie possible on reprochera toujours, si l'on veut, qu'au lieu de démontrer que ce qu'elle explique est la réalité, elle ne fait voir que c'est ainsi que la réalité pourrait être. Or si les théories, même les plus vénérables, ne peuvent être mises à l'abri d'un reproche pareil, il est bien évident que ce reproche ne sera pas épargné à ma théorie nouvelle. Pour parer à cette difficulté inévitable il n'y a pas de meilleur moyen, je pense, que de faire ressortir que ma théorie ne donne pas seulement l'explication des phénomènes nombreux en vue desquels elle a été imaginée, mais fait prévoir en outre beaucoup d'autres phénomènes, que je ne pouvais pas encore connaître, ou ne connaissais pas en tout cas, lorsqu'en 1888 je publiai ma théorie pour la première fois. Parmi ces derniers phénomènes, il y en a de très importants dont j'en citerai ici quelques-uns: 1^o la luminescence chimique (66, 122bis), 2^o l'existence souvent constatée d'une matière poussiéreuse dans les protubérances (111—118), 3^o l'uniformité dans la rotation du gaz solaire (85), 4^o la particularité, que c'est vers la latitude de 11^o que le soleil montre ses taches en plus grand nombre, et que s'observe aussi le renversement du mouvement des taches en latitude (278, 250), 5^o la disparition des métaux du spectre des taches lorsque celles-ci se montrent à de grandes latitudes (305), 6^o les changements séculaires dans la périodicité des phénomènes solaires (348), 7^o la ressemblance du spectre des comètes avec celui d'une flamme de Bunsen et sa dissemblance avec celui d'un tube de Geissler (208), 8^o l'intermittence dans la polarisation de la lumière cométaire et dans la continuité du spectre de cette lumière (207), 9^o la figure de la couronne du soleil durant l'éclipse du 22 Décembre 1889 (172).

§ 2.

Explication des formes diverses des protubérances
et de leur distribution.

123. Les protubérances, étant des lueurs passagères dans la matière tranquille, sont toujours telles que l'atmosphère tranquille qu'elles éclairent par moments. Mais comme cette atmosphère, d'après les considérations représentées dans la fig. (77) de mon Chapitre I, a dans chaque latitude une composition chimique et une hauteur spéciales, il est donc évident que les protubérances doivent avoir aussi dans chaque latitude une composition chimique et une hauteur spéciales. Il n'y a que leur intensité et leur forme individuelles qui puissent varier dans une même latitude en vertu 1^o de petites inégalités dans la composition de l'atmosphère qui les produit (67) 2^o de l'influence d'éruptions voisines actuelles ou récentes (67) et 3^o du moindre pouvoir émissif de taches éventuelles (46). L'influence de l'atmosphère variant avec la latitude prédominera cependant à la longue. L'occurrence en général des protubérances les plus hautes et des protubérances les plus métalliques dans les régions équatoriales (291) est donc un fait (o) que 1^o un seul regard sur ma figure (77) fait prévoir et comprendre tout de suite et qui 2^o donne à toutes les considérations représentées dans cette figure et à celle surtout du renflement équatorial de la masse gazeuse stratifiée solaire une éclatante confirmation.

124. La ressemblance du spectre des protubérances avec celui de l'atmosphère qu'elles éclairent par moments se déduit aussi des faits bien constatés 1^o que même en dehors des protubérances on voit dans l'atmosphère solaire les raies brillantes de l'hydrogène et de l'hélium (p) et 2^o qu'inversement aussi la raie 1474, qui est caractéristique pour l'atmosphère coronale, s'observe ordinairement aussi dans le spectre des protubérances (q). „A tout prendre”, dit M. Young, tout à fait d'accord ici avec moi (34, 35) et en désac-

(o) Secchi : le Soleil II p. 147, 148, 151, 166, 174, 224.

(p) Harkness : Secchi, le Soleil I p. 409—412.

(q) Lockyer : Chem. of the Sun p. 182 — Young : le Soleil p. 188 — Secchi : le Soleil I p. 398, II p. 90 — Abney and Schuster : Phil. Trans. 1884. I. p. 253 — Il est bien possible aussi que la raie coronale ne se montre dans les protubérances que d'après l'explication qu'en a donnée M. Lockyer. (Chem. of the Sun, fig. 67 en 68, p. 164).

cord complet avec l'hypothèse, qu'il admet cependant, des éruptions solaires, „on dirait que nous devons regarder les protubérances comme „différant du milieu qui les entoure, principalement, sinon entièrement, par leur luminosité — comme simplement des portions sur-„chauffées d'une immense atmosphère" (r).

125. Les protubérances étant les endroits où l'atmosphère solaire a une luminosité plus grande qu'ailleurs, montreront par conséquent à l'analyse spectrale, outre les principes principaux vus tout partout dans cette atmosphère, d'autres principes encore, qui, trop rares pour être vus dans les circonstances ordinaires, auront besoin d'une excitation lumineuse pour manifester leur existence. Ce sont ces principes plus lourds, qui assez abondants dans les profondeurs de la chromosphère pour y être constamment visibles, doivent exister encore dans les couches adjacentes où l'on commence à ne les voir plus, et où diminuant avec la hauteur, ils ne feront absolument défaut qu'à une certaine distance des couches où ils ont cessé d'être visibles (r¹).

126. Voilà pourquoi les protubérances dites éruptives nous montrent à leur base des raies métalliques, et pourquoi la hauteur à laquelle les métaux se montrent est indépendante de la hauteur de la protubérance elle-même. Les métaux ne vont guère plus haut qu'une minute „l'hydrogène et l'hélium faisant toujours les frais du reste" (s). Voilà aussi pourquoi *les protubérances même très basses, lorsqu'on les observe dans la zone des taches, sont ordinairement très riches en vapeurs métalliques* (t). Voilà aussi pourquoi, comme dit

(r) Young: le Soleil p. 241.

(r¹) En appliquant la photographie à l'analyse spectrale des couches solaires, on obtient souvent des raies ayant échappé à la vision directe. Ces raies se verront alors d'autant mieux et, ceteris paribus, d'autant plus haut dans l'atmosphère solaire, que, plus réfrangibles, elles seront chimiquement plus actives. C'est ce que nous avons déjà remarqué plus haut (27) à propos des raies H et K dans le spectre des protubérances. Quant à l'identification de ces raies avec celles du calcium, (dont j'ai aussi déjà parlé plus haut (27) il paraît qu'il existe encore quelque doute. „Mr. Hale and „M. Deslandres ascribe these two giant bands of the solar spectrum (H and K) to „calcium, an opinion Prof. Young hesitates to accept. If the bright H and K lines „are due to calcium, then it would appear from the observations of both Mr. Hale „and M. Deslandres that the vapour of that metal rise higher in the solar atmosphere „than do those of hydrogen." Ann. Report of the Council: Monthly Not. Febr. 1892, Prominence Photography p. 293.

(s) Secchi: le Soleil II p. 148.

(t) Secchi: le Soleil II p. 149.

Secchi (*u*) „lorsque les circonstances sont exceptionnellement favorables on trouve toujours des traces de vapeurs métalliques dans la chromosphère et même dans les protubérances composées d'hydrogène, lorsqu'elles sont un peu vives”. Le relèvement momentané apparent des couches chromosphériques inférieures, que M. Young a observé sur le M^t. Sherman (*v*) peut être expliqué de la même manière.

127. Ma théorie explique parfaitement *pourquoi les protubérances qu'on a nommées éruptives ne se montrent jamais dans les régions polaires et pourquoi elles paraissent ordinairement dans le voisinage immédiat d'une tache (w)*. Car, toute protubérance étant l'effet d'une combinaison chimique engendrée *par le refroidissement*, il est évident qu'en vertu du moindre pouvoir émissif du gaz remplissant la cavité d'une tache, tous les endroits situés dans le prolongement du rayon de cette tache seront bien mieux disposés à lâcher leur protubérance que les endroits voisins. Dans ces endroits voisins en effet le refroidissement nécessaire est bien plus efficacement combattu par la chaleur, qui y rayonne plus abondamment de la photosphère intacte (*x*) (46). Voilà expliqué, non seulement pourquoi les protubérances, dites éruptives se montrent surtout dans les zones à taches et s'étendent en général dans une direction centrifuge, mais aussi déjà préparée mon explication identique des rayons dans la couronne, rayons qui apparaissent surtout durant la période du maximum des taches et alors au dessus des zones où les taches abondent, nous prouvent que jusque dans ces couches éloignées il y a de la matière prête à se condenser dès que le refroidissement le permet (170).

128. Il est clair d'ailleurs, qu'en vertu de la différence de vitesse angulaire existant en général entre une tache et l'atmosphère qui la recouvre (102) *les protubérances d'une même tache seront constamment produites dans la normale de cette tache par un secteur*

(*u*) Secchi: le Soleil II p. 179 — L'apparition momentanée et la disparition soudaine de certaines raies, que M. Young a observées sur le Mt. Sherman (Americ. Journ. of Sc. Vol. 3. 1872) s'expliquent comme l'effet de changements rapides dans l'excitation lumineuse (125) — Ueber C. A. Young's Untersuchungen der chromosphärische Linien, Spectralanalyse v. Roscoe 1890 p. 285.

(*v*) Young: le Soleil p. 154 — Clerke: Geschichte der Astr. p. 252.

(*w*) Lockyer: Chemistry of the Sun, Diagram summarising the results of the Italian observations for the years 1881—83 p. 419—421. — Young: le Soleil p. 168. — Secchi: le Soleil II p. 65, 125, etc.

(*x*) Tyndall: Wärme als Art der Bewegung p. 498.

atmosphérique se renouvelant sans cesse. Or comme cette production de protubérances ne peut être instantanée (111) on comprend donc parfaitement 1^o pourquoi „on voit quelquefois des taches qui ne sont pas accompagnées d'une protubérance éruptive (*ij*) et 2^o pourquoi au dessus de taches observées près du bord solaire on voit quelquefois „les protubérances éruptives se renouveler après des intervalles de „cinq à six heures et s'allumer alors d'un côté et s'éteindre de l'autre" (*z*).

129. Ma théorie explique aussi pourquoi les protubérances flammiformes relativement petites, qui limitent la photosphère et qui, surtout durant la période du maximum des taches, semblent s'élever dans l'atmosphère solaire, serrées comme l'herbe dans nos prairies (*a*) paraissent souvent comme courbées par l'effet d'un courant polaire permanent (*b*). N'est-il pas bien naturel en effet que, si les protubérances sont des luminescences dans la matière tranquille, leurs formes se ressentent de la direction oblique, où d'accord avec la figure (77) la composition chimique est la même? La courbure de ces protubérances fait bien peu penser d'ailleurs à l'effet d'un courant permanent quelconque. Car bien qu'on voie souvent des régions chromosphériques considérables où ces protubérances flammiformes sont toutes inclinées dans le même sens, souvent aussi, dit Secchi (*c*) „elles sont inclinées dans des directions contraires, soit convergentes, „soit divergentes, et souvent aussi leur direction change d'un moment „à l'autre avec une rapidité effrayante" (39).

130. Si ces changements brusques de direction indiquaient véritablement des déplacements de masse, ils seraient „effrayants" en effet. Car les filets lumineux qu'on voit si lestement rejetés tantôt d'un côté, et tantôt de l'autre ont un diamètre d'au moins 200 Kilomètres et une hauteur au moins trois fois plus grande (*d*). Mais ces

(*ij*) Secchi: le Soleil II p. 177. — Tacchini: Compt. Rend. 24 Août 1891. A propos du résumé des observations solaires faites à l'Obs. du Collège romain M. Tacchini fait remarquer que la relation entre les taches et les protubérances n'est pas toujours aussi intime qu'on l'a supposé autrefois.

(*z*) Secchi: le Soleil II p. 66. „les éruptions se renouvellent souvent à plusieurs reprises, chaque éruption durant plusieurs heures et étant séparée de la précédente par un intervalle plus ou moins long. C'est là ce qu'on remarque, surtout aux époques de grande activité, lorsqu'une grande tache se présente sur le contour du disque solaire."

(*a*) Lockyer: Chem. of the Sun p. 117.

(*b*) Spoerer: Astr. Nachr. N^o. 1854.

(*c*) Secchi: le Soleil II, Planche A, p. 34—35.

(*d*) Secchi: le Soleil II p. 35.

changements brusques de direction n'indiquent aucun mouvement de masse effrayant (e) D'après ma théorie, ils n'indiquent qu'un déplacement de l'éclat lumineux qu'on ne voit dans la matière tranquille que là où ses éléments dissociés entrent en combinaison. Le phénomène, qui sembla effrayant à Secchi, nous rassure au contraire; car il nous prouve que tout partout dans l'atmosphère solaire l'énergie chimique est constamment sur le qui-vive pour empêcher, que par un commencement de refroidissement local l'imposante tranquillité de la masse solaire soit jamais sérieusement troublée.

131. En comparant ma théorie avec celle des éruptions solaires on verra facilement que cette dernière déjà condamnée en vertu de son désaccord complet avec les propriétés capitales du soleil (29, 34, 35, 37, 39, 40, 41, 43, 150-154) ne parvient après tout qu'à donner une explication naïve et très incomplète (41) de l'apparence qu'ont souvent les protubérances dites éruptives, et que, cette explication donnée, elle est déjà au bout de son latin.

132. Ma théorie au contraire ne rend pas seulement compte des protubérances éruptives, elle explique tout aussi bien les protubérances quiescentes, et fait connaître de même l'influence de la latitude et de la présence des taches sur l'apparence, la hauteur et la composition chimique de toutes les protubérances en général. Elle explique aussi pourquoi les protubérances ne peuvent déranger la stratification de l'atmosphère qu'éternellement elles traversent. Et, toutes ces explications données, ma théorie, bien loin d'avoir dit son dernier mot, n'en est encore qu'au premier. Car, si les protubérances sont telles que je viens de les décrire, si elles sont par conséquent le rouage principal de l'horloge à éruptions de chaleur périodiques, qui marche dans tout corps incandescent céleste (70) et marque le temps dans les étoiles variables, elles doivent causer d'après mon Principe II la répétition indéfinie de phénomènes périodiques réguliers. Il suffira alors de les étudier plus en détail pour trouver l'explication de la périodicité dans les phénomènes solaires.

133. C'est cette étude plus détaillée que nous commencerons maintenant. Si le chemin, qui doit nous conduire au but final est long; si, surtout pour ceux qui le parcourent pour la première fois, il n'est pas sans difficultés; il ne présente cependant aucun obstacle sérieux. Tout lecteur, qui voudra se donner la peine de continuer

(e) Young: le Soleil p. 154. «Il n'y a aucun indice de courants aériens pouvant transporter dans les régions polaires des matières rejetées plus près de l'équateur solaire». C'est ce qu'ont remarqué aussi M. M. Abney et Schuster, Phil. Trans. 175, (1884) p. 253.

à me suivre, pourra donc m'accompagner jusqu'au bout. Arrivé là sa peine sera amplement récompensée, j'espère. Car en y trouvant l'explication promise il aura vu chemin faisant beaucoup d'autres mystères inopinément dévoilés.

§ 3.

Discussion des procès chimiques qui allument les protubérances.

134. Les protubérances étant les endroits où dans l'atmosphère tranquille du soleil des matières dissociées se combinent dès que leur perte continuelle de chaleur le permet, ma théorie ne demande qu'une chose: c'est que l'atmosphère solaire soit riche en matières dissociées. Or voilà une demande, qui ne peut causer la moindre difficulté et que je considère par conséquent comme unanimement accordée.

135. Mais si pour ma théorie il est suffisant de savoir que l'atmosphère solaire est riche en matières dissociées; si ma théorie ne demande pas nécessairement à déterminer *quelles sont les matières qui dans les protubérances se combinent*, ce détail est cependant trop intéressant pour ne pas tacher d'en apprendre quelque chose. Malheureusement, qu'à défaut de données positives ce ne sont que des conjectures, qui nous guideront ici dans la discussion de cette question plus ou moins secondaire.

136. Très probablement ce sont les atomes élémentaires des éléments actuels dissociés de notre chimie terrestre, qui se combinent dans les protubérances (23). On n'y voit pas brûler les éléments que nous connaissons, mais on les y voit naître. Si les résultats obtenus par M. Grünwald dans son étude mathématique des raies spectrales pouvaient être confirmés (*f*) nous y verrions par exemple la synthèse de l'hydrogène. L'hydrogène en effet d'après les recherches citées serait une combinaison du coronium et de l'hélium, substances formant avec l'hydrogène, comme nous savons, les éléments principaux de l'atmosphère solaire.

137. L'hypothèse qu'aux hautes températures solaires certaines substances regardées dans nos laboratoires comme élémentaires puis-

(*f*) Grünwald: Astron. Nachr. 1887 N°. 2797. Ueber die merkwürdigen Beziehungen zwischen dem Spectrum des Wasserdampfes und den Linienspektren des Wasserstoffs und Sauerstoffes, sowie über die chemische Struktur der beiden letzteren und ihre Dissociation in der Sonnenatmosphäre. — Chem. News LVI. — Kais. Akad. d. Wissensch. Dec. Heft 1887.

sent être dissociées (ou plutôt n'y aient pas encore été formées) n'a assurément rien d'in vraisemblable (*g*). Elle s'impose même comme *axiome* à tout chimiste, qui est convaincu avec moi (et qui ne le serait pas!) que *dans la recherche des éléments véritables la chimie n'a pas encore dit son dernier mot* (*h*). Combien d'éléments regardés comme tels par les chimistes de hier n'ont-ils pas été rayés de la liste par les chimistes d'aujourd'hui. Tels sont l'erbium, le holmium, le thulium, le didymium et le samarium, qui tous décomposés par M. M. Krüss et Nillson paraissent contenir 22 éléments nouveaux. Tel est aussi l'yttrium, que M. Crookes a séparé (ainsi que le samarium et le holmium) en différentes substances, qu'il a nommées méta-éléments. Tel paraît être aussi le tellurium, décomposé par M. Brauner en un grand nombre de substances plus élémentaires (*i*).

(*g*) Bien avant M. Lockyer, Brodie et Sterry Hunt avaient déjà formulé l'hypothèse de la dissociation solaire. Brodie: Phil. Trans. 1866, Calculus of chemical operations; Chem. News 1867; June 14, Ideal Chemistry — Sterry Hunt: Chem. News, May 31 1867. The Chemistry of the Primeval Earth — Lockyer: Proc. Roy Soc. 1878 Vol. 28 p. 157. — Crookes: Nature, Sept. 2, 1886 p. 424. — Chemistry of the Sun p. 205—207. «Brodie suggested that the constituents of our elementary bodies might be found existing as independent forms in the hottest parts of the solar atmosphere» — Secchi dit aussi (le Soleil II p. 278) qu' «il est possible qu' à la température à laquelle se trouve le globe solaire la dissociation s'étende également à ces éléments premiers, à cette Urstof des philosophes allemands.»

(*h*) M. Crookes ayant découvert le thallium, voici ce que Faraday lui dit: «To discover a new element is a very fine thing, but if you could decompose an element and tell us what it is made of — that would be a discovery indeed worth making.» Et ce n'était pas là une idée que Faraday émit alors pour la première fois; car dans une de ses premières conférences il avait déjà remarqué: «At present we begin to feel impatient and to wish for a new state of chemical elements. For a time the desire was to add to the metals, now we wish to diminish their number.... To decompose the metals, then, to re-form them, to change them from one to another, and to realise the once absurd notion of transmutation, are the problems now given to the chemist for solution.» Crookes: Opening Address of Sect. B of the Brit. Assoc. in 1886, Nature, Sept. 2, 1886 p. 424. — Dans le beau discours d'ouverture, que je viens de citer, M. Crookes rappelle aussi les opinions de M.M. Lockyer, Spencer, Brodie, Stokes, Graham, Gladstone, Clarke, Carnelley, Mills, Reynolds et Stoney, qui tous ont, comme lui, plus ou moins développé l'idée de la complexité de nos éléments actuels et de leur développement graduel à partir d'éléments véritables. Cette idée est toujours dans l'air. Tout récemment elle a encore inspiré M.M. Wendt et Preyer, comme je viens de le lire dans la livraison de Février du Journal Himmel und Erde 1892 p. 236 (Carus Sterne: Die Entwicklung der Chemischen Elemente) «Ce qui doit prédominer dans ces questions» dit Dumas (Lockyer: Chem. of the Sun p. 205) «c'est le sentiment de la continuité dans les caractères des êtres et dans les phénomènes de la nature».

(*i*) Kriiss u. Nillson: Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. XX 1887 p. 2134 — Crookes: Nature Sept. 2 1886. — Brauner: Journ. Chem. Soc. CCCXX (382—411) 1889.

Si cette décomposition du tellurium se confirme, celle du sélénium et du soufre, qui, membres d'une même famille, lui ressemblent énormément, ne paraît plus qu'une question de temps.

138. Or si tant d'éléments de Lavoisier, de Berzelius et de Mosander ne résistent plus longtemps aux forces décomposantes dont disposent maintenant nos laboratoires terrestres, combien de ces éléments ne succomberont-ils pas dans le laboratoire solaire, où la température immense est une force décomposante autrement énergique que celles déjà si heureusement mises en oeuvre par M. M. von Welsbach, Krüss, Nillson et consorts.

139. On croira qu'il est superflu d'insister sur l'action décomposante que doit produire l'immense température solaire, mais je ferai remarquer cependant qu'il y a des chimistes, qui bien loin d'admettre l'action décomposante d'une température très haute, affirment au contraire, qu'il y aurait des combinaisons chimiques qui, décomposables à basse température, deviendraient d'autant plus stables que leur température s'élèverait davantage!

140. On trouve cette assertion étonnante dans le dernier Traité de Chimie de M. Ostwald (j). Si elle était vraie elle renverserait

(j) W. Ostwald: Grundriss der Allgemeinen Chemie, Leipzig 1889 p. 312.

Le raisonnement de M. Ostwald est trop remarquable pour ne pas le citer en entier: «Ein Fall, bei welchem eine messbare Dissociation unter Wärmeentwicklung erfolgt, ist bisher noch nicht eingehend untersucht worden. Indessen sind zahlreiche Erscheinungen qualitativ bekannt, die bisher als im höchsten Grade rätselhaft angesehen worden sind und die ihre Erklärung in jenem Prinzip finden. Es gibt Verbindungen, welche, bei Zimmertemperatur ziemlich konstant, bei höheren Wärmegraden unter Wärmeentwicklung in ihre Elemente zerfallen, während sie wieder bei sehr hohen Temperaturen eine auffällige Beständigkeit zeigen, ja sich frei aus ihren Elementen binden. Hierzu gehört z. B. das Cyan und das Acetylen. Beide Gase entstehen bei den höchsten herstellbaren Temp., wie sie der electr. Flammbogen oder der Hochofen geben, in reichlichster Menge, während sie sich bei niederen Temp., bei Rotglut, nicht halten können sondern in ihre Elemente zerfallen oder in stabilere Verbindungen (z. B. Acetylen in Benzol) übergehen. Dies sind solche Stoffe, bei denen ρ und somit auch $d\rho$ negativ ist, bei denen daher (sic) ein Ansteigen der Temperatur ein Zurückgehen der Dissociation und eine grössere Beständigkeit bedingt. Diese Beziehungen sind von grosser Wichtigkeit für die relative Beständigkeit der verschiedenen Stoffe, und für die Möglichkeit, dass bei hohen Temp. Verbindungen bestehen. Gewöhnlich stellt man sich den Einfluss der Temp. auf chem. Verbindungen so vor, dass dieselben um so unbeständiger werden, je höher die Temp. ansteigt und schliesslich bei sehr hohen Wärmegraden ganz in ihre Elemente zerfallen. Dies ist ganz richtig für solche Verbindungen, welche unter Wärmaustritt entstanden sind, bei deren Zerfall also Wärme verbraucht wird. Ganz das entgegengesetzte Verhalten müssen aber die Stoffe zeigen, welche unter Wärmebindung entstehen. Diese werden, wie eben dargelegt wurde, um so beständiger, je höher die Temp. steigt. Es ist also keineswegs unzweifelhaft, dass z. B. auf de

la Mécanique chimique entière; mais heureusement elle ne repose sur aucun fondement sérieux. Si l'acétylène se décompose déjà au rouge sombre mais se forme néanmoins lorsqu'on fait jaillir l'arc voltaïque entre deux pointes de charbon au sein d'un courant d'hydrogène, cela ne prouve aucunément, comme M. Ostwald l'affirme, que ce carbure d'hydrogène se produirait à une température très supérieure à celle qui détermine sa décomposition. Car il n'y a aucune raison d'admettre que là où le carbone et l'hydrogène s'unissent la température serait plus haute que celle du rouge sombre. Si par exemple l'hydrogène sulfuré peut être obtenu aisément en volatilisant le soufre dans l'étincelle électrique au milieu d'une atmosphère d'hydrogène (*k*) cela ne prouve pas que cette combinaison se formerait dans l'étincelle elle-même; mais cela prouve tout simplement que cette étincelle est un moyen excellent pour donner au soufre l'état vaporeux qu'il lui faut pour se combiner avec l'hydrogène dès *qu'à une certaine distance de l'étincelle* la température le permet.

141. Il en est de même dans la synthèse de l'acétylène. *Ce n'est pas dans l'arc voltaïque lui-même que l'acétylène se forme mais tout à l'entour; et l'immense température de cet arc n'est indispensable que pour donner au charbon l'état infiniment divisé, vaporeux ou poussiéreux qu'il lui faut pour pouvoir se réunir avec l'hydrogène.* (*l*)

142. Nous savons d'ailleurs que Despretz en soumettant un morceau de charbon de sucre à la chaleur développée par 496 Eléments de Bunsen a vu le charbon se volatiliser et former un dépôt noir sur les parois du verre (*m*) et nous savons aussi qu'un dépôt pareil se forme de même dans les lampes d'Edison. Et là il atteste son origine poussiéreuse par son absence dans un trait nettement accusé, là où dans le plan des deux bouts du fil de charbon le verre

„Sonnenoberfläche die Elemente wegen der da herrschenden sehr hohen Temp. sämtlich in freiem Zustande vorhanden sind; es ist im Gegenteil sehr wohl möglich, dass in der Sonnenhülle Verbindungen verschiedener Art vorhanden sind, die wir noch gar nicht kennen.“ C'est moi, qui ai souligné ces lignes étonnantes.

(*k*) G. Salet: Dict. de Chim. p. A. Wurtz, Art. Soufre p. 1601.

(*l*) Mon interprétation de la synthèse de l'acétylène étant juste, c'est à tort qu'on considère la présence de ce gaz dans une atmosphère stellaire comme compatible avec une température excessivement élevée. C'est ce que font cependant beaucoup d'astronomes. M. Huggins par exemple dans son Discours d'ouverture du dernier Congrès de l'Ass. Brit. à Cardiff s'est exprimé ainsi: „The coming in of the hydrocarbon bands may indicate a later evolutionary stage, but the temperature may still be high, as acetylene can exist in the electric arc” Nature Aug. 20, 1891.

(*m*) Despretz: Compt. Rend. 1849 t. XXIX p. 709.

est protégé contre le bombardement du bout le plus éloigné par le bout plus rapproché fonctionnant comme écran (*n*).

143. La synthèse de l'acétylène n'a donc rien de mystérieux, rien qui puisse ébranler le fondement principal de la mécanique chimique. M. Ostwald se trompe. Complètement rassurés à cet égard, nous continuerons maintenant notre étude du soleil.

144. L'atmosphère solaire montre à l'analyse spectrale plusieurs particularités, qui donnent à l'hypothèse que nos éléments terrestres s'y trouveraient pour la plupart dans un état dissocié une très grande probabilité. Je citerai par exemple 1° *l'existence dans le spectre solaire de plusieurs milliers de raies, dont jusqu'à présent il n'y a que quelques centaines, qui ont pu être sûrement identifiées (o)*. Cette particularité devient surtout intéressante si on la rapproche de la suivante: 2° *la non-apparition dans le spectre solaire ou l'apparition douteuse des raies de plusieurs de ces éléments, qui forment justement la plus grande partie de la croûte terrestre et notre atmosphère entière, comme par exemple l'oxygène, la silice, le carbone, l'azote, le soufre et les corps halogènes (p)*. Il est peu plausible que ces mé-

(*n*) Dr. L. Bleekrode: Lichtbronnen zonder warmte. Elseviers Maandschrift I p. 398. — Outre le carbone il y a encore d'autres éléments peu ou point volatils, qui sous l'influence d'une température très élevée s'en vont en poussière. C'est ce qu'a découvert M. Nahrwold, qui en chauffant fortement un fil de platine dans un tube de verre vit le métal former un dépôt sur les parois du tube (Ann. d. Phys. u. Chemie 31 p. 467) M. Berliner a vérifié plus tard l'observation de M. Nahrwold et observa en outre que le palladium et le cuivre produisent également des miroirs métalliques lorsqu'on les chauffe pareillement. Selon lui le phénomène est causé par l'expulsion d'un gaz occlus. (Ann. d. Phys. u. Chemie 33 p. 289) M. Rémont a démontré de même que le dépôt charbonneux, qui se forme sur le platine chauffé dans une flamme réductrice renferme une petite quantité de ce métal (Bull. Soc. Chim. t. XXXV p. 486. — Dict. de Chimie par Wurtz, 1 Suppl. p. 1290.). Dans la dernière Partie de ma Théorie j'espère revenir sur ces transports imprévus de matière non volatile; ils nous aideront alors à expliquer encore quelques autres synthèses, qui, tout comme celle de l'acétylène, semblent au premier abord s'accomplir à une temp. plus haute que celle qui détermine la décomposition complète de la combinaison formée.

(*o*) Young: General Astronomy 1889 p. 199.

(*p*) Young: le Soleil p. 69. — D'après M. Rowland, il serait certain qu'il y aurait dans le Soleil 36 de nos éléments terrestres, et peut-être y en aurait-il encore 8 de plus. (Huggins: Nature Aug. 20, 1891). — L'absence de raies de métalloïdes dans le spectre solaire est attribuée quelquefois aux métaux de l'atmosphère solaire, qui là, tout comme dans les tubes de Geissler (193) empêcheraient les molécules auxquelles elles seraient mélangés de manifester leurs raies. Mais on oublie alors que les métaux ne montrent cette influence que lorsqu'on les rend lumineux par l'électricité. Dans une flamme ordinaire ils ne montrent rien de semblable „Fügt man *n*z. B. einer Bunsenflamme, die ein sehr schönes Kohlenwasserstoffspectrum gibt, *n* Natriumdampf bei, so erleidet hierdurch das Kohlenwasserstoffspectrum nicht die

talloïdes ne fussent pas du tout représentés dans la masse solaire, et il est infiniment plus probable que ces métalloïdes n'y sont méconnaissables que parce qu'à la haute température solaire ils sont complètement dissociés. Or si tel est le cas, les principes dissociés de ces métalloïdes relativement légers se trouveront dans l'atmosphère solaire, et ce seront eux probablement, qui auront produit la plupart des raies spectrales coronales qu'en 1882 M. M. Abney et Schuster ont photographiées (*g*). Les bandes nombreuses que M. Lockyer distingua alors dans le spectre de la couronne semblent indiquer que dans ces régions coronales les métalloïdes dissociés sont déjà assez refroidis pour manifester leur spectre caractéristique à bandes multiples (*r*). Rappelons nous 3^o que les raies d'un même élément terrestre se montrent différemment représentées dans les couches superposées, différemment déplacées par la rotation du soleil sur l'axe et différemment déplacées aussi lorsque l'éclat lumineux se déplace.

145. Cette troisième particularité surtout, que nous avons déjà longuement discutée plus haut (25, 99), nous conduit forcément à l'hypothèse de M. Lockyer que, ce que nous appelons le spectre du fer par exemple est réellement formé dans nos expériences par la superposition de plusieurs spectres appartenant à des principes ferriques plus élémentaires, et que dans le soleil ces principes sont triés en couches superposées où leurs raies différentes peuvent être dans le même moment différemment affectées.

146. Cette hypothèse bien connue est aussi une idée principale de ma théorie. Ma théorie en effet admet de même que dans les couches solaires des principes ferriques différents se trouvent superposés. Elle ne diffère de la théorie de M. Lockyer que dans l'explication de cette superposition, qu'elle attribue à la gravitation dans la matière tranquille, tandis que M. Lockyer n'y voit que l'effet de la température diminuant avec la distance du centre dans la matière bouleversée. Si je reviens ici un moment sur cette question déjà longuement débattue dans mon introduction (11—28) c'est seulement pour relever que, grâce à mon interprétation, l'hypothèse de la dissociation solaire ne montre plus la moindre discordance avec les faits observés (26).

„geringste Einbusse, vielmehr erscheint das Spectrum desselben in derselben Stärke wie vorher, und die Natriumlinie ist nur neu hinzugekommen“ Scheiner : Spectralan. d. Gest. p. 239.

(*g*) Capt. W. d. W. Abney and Dr. A. Schuster : On the total Eclipse of 17 May 1882. Phil. Trans. 175 1884 1 p. 253.

(*r*) Lockyer : Chemistry of the Sun p. 365.

147. Nous savons d'ailleurs qu'il y a beaucoup d'autres considérations encore, qui se basant sur les données de la chimie terrestre, donnent à l'hypothèse de la complexité de nos éléments actuels une grande probabilité. Je n'en rappellerai ici que deux (s) : 1^o l'analogie des radicaux organiques avec les éléments et 2^o la simplicité dans les rapports numériques, que présentent les poids atomiques, simplicité, qui bien que n'étant très souvent qu'approximative et comme légèrement dissimulée par quelque cause encore inconnue, ne nous fait nullement penser cependant à un effet du hasard, mais plutôt à l'existence dans nos éléments actuels de principes plus élémentaires communs. Ce sont ces rapports numériques, qui ont conduit à l'hypothèse de Prout (t), aux triades de Doebereiner, au système périodique de Newlands-Meyer-Mendeleef et à l'étude par J. B. Richter, Pettenkofer, Bremers, Gladstone, Stapley et Dumas de l'égalité que présente souvent l'augmentation des poids atomiques dans des groupes entièrement différents (t').

(s) Les coïncidences de raies dans les spectres d'éléments différents auraient ici une grande importance si elles étaient aussi nombreuses et aussi certaines qu'on l'a cru d'abord. «En examinant la carte du spectre solaire d'Angström, on trouve encore environ 25 raies, qui sont marquées comme appartenant à la fois au fer et au calcium. Il en est de même, dans une plus large mesure du fer et du titane, et à un degré considérable de plusieurs couples de substances" (Young : le Soleil p. 68). Mais la plupart de ces coïncidences ont été expliquées depuis comme seulement approximatives ou dues à des impuretés (Young : Nature Nov. 25, 1886 p. 86). Il n'est nullement impossible cependant que parmi ces nombreuses coïncidences fortuites il y en ait de réelles et que même parmi les raies non parfaitement coïncidentes, il y en ait qui coïncideraient bien parfaitement si elles n'étaient légèrement déplacées par ce que M. Lockyer nomme "Shifts" (Chem. of the Sun p. 369, 372) (163) Des raies communes véritables sont considérées par M. Lockyer comme des "raies basiques" dues à quelque principe élémentaire commun.

(t) "Trotzdem durch diese unübertroffene Arbeiten (von J. S. Stas) die Frage endgültig erledigt schien, ist sie doch inzwischen immer wieder aufgeworfen worden. Der Grund dazu ist die erwähnte, thatsächlich vorhandene *Annäherung* der gemessenen Zahlenwerte an Multiple des Wasserstoffatoms. Ein Blick auf die Tabelle der Atomgewichte zeigt diese Annäherung deutlich" (Ostwald : Grundriss der Allgem. Chemie p. 33). — "In short, admitting half multiples as legitimate, it is more probable that the few apparent exceptions are due to undetected constant errors than that the great number of *close agreements* should be merely accidental" (Clarke : Nature Sept. 2, 1886 p. 425).

(t') Richter : Anfangsgründe der Stöchiometrie oder Meszkunst chymischer Elemente 1792. — Kopp : Entwicklung der Chemie p. 255, 258, 270 etc. — Ostwald loc. cit. p. 34. — Wendt : Die Entwicklung der Elemente, Berlin 1891. — Sterne : Himmel und Erde Febr. 1892. p. 236. — Stapley : Nature, Nov. 21, 1889. The composition of the chemical elements. "The hypothesis here advanced, is, that the periodicity of the elements is due to the dependence of the properties of each element upon those of the family to which it belongs, toge-

148. Si malgré les arguments, que je viens de rappeler (136—147) et de tant d'autres encore, que M. Lockyer a si clairement développés dans son beau livre „the Chemistry of the Sun” et que M. Crookes a énumérés dans son intéressant discours cité plus haut (137) on hésitait cependant à admettre une dissociation plus ou moins complète de nos éléments actuels dans l'atmosphère solaire, ma théorie pourrait à la rigueur se contenter de la dissociation en atomes libres, que M. M. Meyer et Crafts ont expérimentalement constatée en chauffant par exemple au rouge blanc la vapeur de l'iode, dont ils virent alors la molécule I_2 se scinder en deux molécules I (u).

„ther with the mode of its combination with oxygen. In other words, that the elements, with the exception of the first six are in qualified sense, compound oxygen radicals (Group a: RO_2 , RO_3 , RO_4 , RO_{11} , RO_{14} ; Group b: RO , R_2O_2 , R_2O_6 , R_2O_8 , R_2O_{12} .) These Groups correspond to the even and odd series of Mendeleef.” — Gladstone: Pres. Add. Chem. Sect. Brit. Ass. 1883: „The remarkable relations between the atomic weights and many peculiarities of their grouping, force upon us the conviction that they are not separated bodies created without reference to one another, but that they have been originally fashioned, or built up from one another, upon some general plan. This plan we may hope to understand better; but if we are ever to transform one of these supposed elements into another, or to split up one of them into two or three dissimilar forms of matter, it will probably be by the application of some method of analysis hitherto unknown” — Il est clair d'ailleurs que, si nos éléments actuels sont en réalité des combinaisons chimiques, ces combinaisons sont cependant d'un autre ordre que celles qui sont déjà décomposables aujourd'hui. Elles s'en distinguent en effet par l'égalité de leurs chaleurs spécifiques atomiques. „Il y a donc (dit M. Berthelot) entre les propriétés physiques des éléments et celles de leurs composés une opposition singulière et qui donne à réfléchir; elle est d'autant plus importante que la notion de chaleur spécifique est une traduction du travail moléculaire général, par lequel les corps sont maintenus en équilibre de temp. les uns avec les autres. Cette opposition ne prouve nullement, et je ne voudrais pas que l'on se méprit sur ma pensée à cet égard, l'impossibilité théorique de décomposer nos éléments actuels; mais elle définit mieux les conditions du problème et elle conduit à penser que la décomposition de nos corps simples, si elle pouvait avoir lieu, devrait être accompagnée par des phénomènes d'un tout autre ordre que ceux qui déterminent jusqu'ici la destruction de nos corps composés” (Lockyer: Chem. of the Sun p. 204). — Dumas: Leçons de Philosophie Chimique 1836, p. 280. — Berthelot: Compt. Rend. 1880 Vol. 90 p. 1512: L'étude approfondie des propriétés physiques et chimiques des masses élémentaires, qui constituent nos corps simples actuels, tend chaque jour davantage à les assimiler, non à des atomes indivisibles, homogènes et susceptibles d'éprouver seulement des mouvements d'ensemble, — il est difficile d'imaginer un mot et une notion plus contraires à l'observation; mais à des édifices fort complexes, doués d'une architecture spécifique et animés de mouvements intestins très variés”.

(u) V. u. C. Meyer: Berichten d. Deutsch. Chem. Gesellsch. t. XI p. 1426. — Crafts: Compt. Rend. t. XC p. 183 et 309. — Crafts et Meier: Compt. Rend. 1881 t. XCII p. 39. — Troost: Compt. Rendus t. XCI p. 54. — Wurtz: Dict. de Chimie Supp. I p. 245 et 619.

Cette sorte de dissociation a été étudiée aussi par M. M. Biltz et v. Meyer (v) qui virent la décomposition des molécules tétratômiques du Phosphore, commencée vers 800°, pas encore terminée à demi à 1708°. Tandis qu'à 1640° ils trouvèrent les molécules de l'antimoine encore plus lourdes que Sb_2 , pas aussi lourdes cependant que Sb_3 , celles de l'arsenic et du soufre devaient être représentées à 1719° par As_2 et S_2 . C'est à cette dissociation en atomes libres qu'on attribue souvent le changement subit de spectre que certains éléments, comme aussi par exemple l'iode (w) nous montrent dès que leur température a atteint un certain degré (x), changement cependant qui pourrait être l'effet aussi de la décomposition plus complète que supposent M. Lockyer et tant d'autres chimistes.

149. Il résulte des considérations précédentes que, quelque grande que soit encore notre ignorance quant à la composition exacte de l'atmosphère incandescente du soleil, cette atmosphère doit être riche en tout cas en molécules, qui, prêtes à se combiner, doivent pouvoir produire des éruptions lumineuses de chaleur, c'est à dire des protubérances, dès que la perte de chaleur le permet.

(v) Blitz et v. Meyer : Zeitschrift physik. Chemie IV p. 249.

(w) G. Salet : Assoc. française, Congrès de Nantes 1875. — Dict. de Chimie par A. Wurtz, Suppl. I p. 621.

(x) Plücker u. Hittorf : Phil. Trans. 1865 I. Mitscherlich : Phil. Mag. 1864, 27 p. 16 ; 28 p. 187. — Roscoe : Spectr. Analyse 1890 p. 123. — L'hypothèse d'Avogadro et la loi de Dulong et Petit (Kundt et Warburg : Ber. d. D. Ch. Ges. 1875 ; Pogg. Ann. CLVII p. 353) ayant conduit les chimistes à considérer la vapeur de mercure comme composée de molécules monoatomiques Hg, il est bien difficile de concilier cette simplicité atomique extrême avec la grande complication du spectre du mercure, complication qui semble indiquer plutôt que la molécule jusqu'à présent chimiquement monoatomique Hg est décomposable cependant en sous-atomes ou monades. Si l'indivisibilité d'une molécule de mercure ne s'impose nullement à l'esprit (Wurtz : Suppl. du Dict. Théorie atomique p. 250) sa divisibilité se concilie donc très bien avec les résultats de l'analyse spectrale. — "The fact that some elementary bodies have double spectra... was independently discovered by Plücker and the younger Mitscherlich. Mitscherlich in the clearest manner at once pointed out that this fact might be taken as evidence that the elements on which he experimented were in reality compound bodies." Lockyer : Chem. of the sun p. 190. — "Nous ne nions certainement pas qu'un corps simple ne puisse dans certains cas donner différents spectres. Citons par ex. le spectre d'absorption d'iode qui ne ressemble en aucune façon au système des raies brillantes du même corps ; et remarquons de plus qu'en général tout corps simple, présentant la propriété d'allotropie, doit donner à l'état d'incandescence des spectres différents, pourvu que la dite propriété de la substance subsiste non seulement à l'état gazeux du corps, mais encore à la temp. même de l'incandescence" Angström et Thalén : Recherches sur les spectres des métalloïdes p. 5.

§ 4.

Discussion du déplacement des raies dans le spectre
des protubérances.

150. Nous voici arrivés à la discussion d'un des phénomènes les plus remarquables que présentent les protubérances, c'est à dire le déplacement de leurs raies spectrales. Ce déplacement démontrerait d'après la théorie de Doppler le mouvement rapide de la matière lumineuse (ij), et il montrerait ainsi „d'une manière certaine” (z) que les mouvements rapides des protubérances ne sont pas dus au *déplacement tout simple* de l'éclat lumineux dans la matière tranquille mais au *déplacement fabuleux* de la matière lumineuse elle-même.

151. C'est ainsi par exemple qu'un des plus grands astronomes, un de ceux à qui nous devons en premier lieu notre connaissance du soleil, m'écrit „qu'étant d'accord avec moi qu'il y a un grand „nombre de faits prouvant que les protubérances se forment toujours „là où nous les voyons, et se propagent *comme marche le feu dans „une mèche*, il serait préparé à accepter ma théorie nouvelle, s'il n'y „avait ce déplacement des raies spectrales, qui selon lui est une „preuve irrécusable du mouvement de la source lumineuse.”

152. Pour bien faire ressortir l'importance capitale que l'astronomie d'aujourd'hui attribue à cette interprétation ordinaire du déplacement des raies spectrales je citerai ici en premier lieu quelques passages du beau livre de M. Young „Le Soleil” : A la page 164 M. Young s'exprime ainsi : „toute l'apparence des protubérances „quiescentes indique *qu'elles prennent naissance où nous les voyons* „(page 166) *elles sont formées par un échauffement local ou par „quelque autre agitation lumineuse de l'hydrogène déjà présent et non par un transport et une réunion de matières prises au loin.*” A la Page 241 nous lisons : „Dans bien de cas, peut-être dans la plupart „les formes et la manière d'être des protubérances s'expliquent assez

(ij) Doppler : Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels ; Böhm. Gesellsch. Abh. II (1841—42). — Fizeau : Soc. Philomatique de Paris 23 Déc. 1848 p. 81. — Lockyer : Chem. of the Sun p. 135. — Déjà en 1810 Arago avait cherché à déterminer si la déviation qu'un prisme fait éprouver aux rayons lumineux d'une étoile est modifiée par le mouvement qu'imprime au prisme la rotation de la terre sur l'axe. (Ann. de Chimie et de Phys. 3e Ser. t. 37.) Montigny : Bull. de l'Ac. Roy. de Belgique 1879 p. 320.

(z) Young : le Soleil p. 168.

„bien en supposant que l'hydrogène échauffé et les vapeurs qui s'y joignent sont simplement chassés dans des régions plus fraîches par la pression du dessous *Mais évidemment ce n'est pas là tout ce qui a lieu. Nous sommes forcés d'avoir recours à des idées d'un ordre différent* pour nous expliquer des cas assez rares, mais néanmoins très nombreux et bien prouvés où on a vu les sommets de protubérances monter en quelques minutes jusqu'à des élévations de 2 ou 300.000 milles, le mouvement ascensionnel étant presque visible aux yeux avec la vitesse de 100 milles ou davantage par seconde. Ce qui est aussi très embarrassant, *c'est le fait indubitable que des nuages de cette substance des protubérances s'assemblent quelquefois et se forment sans aucune liaison apparente avec la chromosphère située au dessous ; apparemment, juste comme des nuages se forment dans notre propre atmosphère par la condensation de vapeurs auparavant invisibles. „A tout prendre”,* (qu'on note bien que ce n'est pas moi, qui dis tout cela, mais M. Young, l'observateur assidu du soleil) *on dirait que nous devons regarder les protubérances comme différant du milieu qui les entoure, principalement, sinon entièrement, par leur luminosité — comme simplement des portions surchauffées d'une immense atmosphère.*”

153. Si malgré ces observations „forçant d'avoir recours à des idées d'un ordre différent” mais s'accordant tout de suite et complètement avec ma théorie du soleil tranquille, *M. Young persiste cependant dans les idées qu'il condamne*, la faute en est uniquement à l'interprétation généralement adoptée du déplacement des raies spectrales. C'est ce que M. Young a clairement développé à la page 168, où, après avoir rappelé que les protubérances montrent quelquefois des vitesses de 200 milles par seconde, il continue ainsi : „Ce qui nous montre d'une manière certaine que nous avons affaire à des mouvements actuels et non à un simple changement de place de la forme lumineuse, c'est que les raies du spectre sont souvent déplacées et tordues d'une manière qui indiquerait qu'une partie des masses nuageuses se meuvent du soleil vers la terre ou inversement (et naturellement tangentiellement à la surface solaire) avec une vitesse égale”.

154. Secchi a raisonné précisément comme M. Young. Lui aussi s'est demandé si „en considérant les vitesses énormes des protubérances” tous ces changements de forme étaient bien dus à des mouvements mécaniques : „Ne seraient-ce pas de simples apparences dues à des changements d'état physiques ? Les masses nébuleuses s'illuminent avec tant de rapidité, elles se dissolvent ensuite en si peu de temps, que l'on est porté à voir là une transformation

„momentanée plutôt qu'un transport réel de matière pondérable" (2¹). Mais, dit-il, quelques pages plus loin (p. 112) „cette question, savoir „si les mouvements de la matière incandescente qui constitue les „protubérances sont réels ou apparents, sera singulièrement éclaircie, „nous croyons même pouvoir dire qu'elle sera résolue par les faits „que nous allons exposer dans les paragraphes suivants". Or les faits que Secchi expose dans ces paragraphes (p. 112—124) ont uniquement rapport au déplacement des raies spectrales. C'est en étudiant sérieusement ce déplacement, dit-il, qu'on n'hésitera pas à conclure „que les éruptions solaires ne peuvent s'expliquer par de „simples illuminations dues (comme il l'avait supposé un moment) „à des décharges électriques; mais que ce sont de véritables mouvements mécaniques, des transports de matière pondérable lancée avec „une vitesse dont nous n'avons d'ailleurs aucun exemple".

155. Si cette interprétation généralement adoptée du déplacement des raies spectrales était vraie ma théorie ne le serait pas. Mais cette interprétation, quelque grande que soit l'autorité des savants, qui la défendent, n'a jamais été suffisamment justifiée (a). Je sais fort bien que M. M. Huggins, Zöllner, Vogel, Hastings, Young, Langley, Cornu, Crew et Duner ont clairement démontré que la rotation du soleil sur l'axe cause bien réellement un déplacement des raies (b). Mais ce déplacement parfaitement constaté ne prouve aucunement, et ne prouvera jamais, qu'un déplacement pareil ne pourrait être causé aussi d'une toute autre manière. Combien de phénomènes ne connaît-on pas, qui, quoique complètement semblables, doivent être attribués cependant à des causes entièrement différentes! On les rencontre dans tous les domaines de la science; mais ils abon-

(2¹) Secchi: le Soleil II p. 108.

(a) Il y a eu même plusieurs savants, qui ont taché de démontrer que le déplacement de la matière lumineuse (ou du prisme) ne peut avoir aucune influence sur la position des raies. Je cite entre autres: Respighi, Rayet, Blaserna, Spée, Klinkerfues et v. d. Willigen. Si ces savants ont eu tort (comme il est clairement prouvé par les observations de M. Huggins et tant d'autres savants, cités plus haut) leur erreur nous prouve cependant, qu'aux yeux de beaucoup de savants distingués l'analogie dans la formation du son et de la lumière est loin d'être complète. Secchi: les Étoiles II p. 41—47; I p. IX, A. Angot: Notice sur le P. Secchi — Spée: Bull. de l'Ac. Roy. de Belgique 1879 p. 318—324. Rapports de M.M. Houzeau et Montigny — v. d. Willigen: Archives Neerland. IX § XII — J. Scheiner: die Spectralanalyse der Gestirne p. 153.

(b) Zöllner: Pogg. Ann. 114 p. 449 (1871) — Hastings: Am. Journ. of Sc V p. 369 (1873) — Langley: Am. Journ. of Sc. 14 p. 140 (1877) — Young: Am. Journ. of Sc. 12 p. 321 (1876) — Young: Nature, Nov. 25, 1886 — Crew: Am. Journ. of Sc. 35 p. 151; 38 p. 204 (1889) — Duner: Astr. Nachr. N^o. 2968 (1890).

dent surtout dans le domaine de l'analyse spectrale (46, 47, 163, 178 k, 191, 193, 208).

156. Si encore le déplacement des raies, qu'on voit évidemment produit par le déplacement de la matière lumineuse, était un phénomène excessivement simple, dont l'explication ne laisserait plus rien à désirer, on concevrait à la rigueur que sous l'empire d'une explication complète on se crût autorisé à nier la possibilité de toute autre interprétation. Mais le déplacement des raies est un phénomène tellement compliqué au contraire que l'explication complète n'en a jamais été donnée (c). Et en effet pour se faire une idée bien distincte de ce phénomène il faudrait 1° connaître quel est dans la source lumineuse le mouvement, qui y produit les ondes de l'éther et 2° savoir comment l'éther est traversé par la matière lumineuse (c¹) et quelle est l'influence du mouvement vibratoire des particules de l'éther sur le mouvement vibratoire des atomes lumineux. Or comme ces particularités capitales sont encore bien peu connues il n'est guère possible d'arriver à une idée bien nette du phénomène, et d'en donner par conséquent une explication mathématique.

157. L'explication dont on se contente ordinairement est uniquement basée sur l'analogie dans la *propagation* du son et de la lumière. L'on se réfère alors par exemple à l'expérience connue de Buïjs Ballot, qui prouva si clairement que pour le son la longueur d'onde varie quand le corps vibrant sonore est suffisamment déplacé (d). Mais un corps lumineux n'est pas comme un corps sonore un corps vibrant comme tel et présentant de la sorte des phases

(c) „Ein einwurfsfreier mathematischer Beweis für das Doppler'sche Princip ist noch nicht erbracht" Scheiner: Himmel u. Erde I p. 198 — „Wie schon angedeutet, ist ein allgemein gültiger Beweis für das Doppler'sche Princip bis jetzt nicht erhalten worden, da man bisher niemals den Einfluss, den die Bewegung der Schwingungsquelle in dem schwingenden Medium auf die Quelle selbst ausübt, berücksichtigt hat. Findet bei beträchtlichen Bewegungsgeschwindigkeiten eine Reibung des Erregungscentrum an dem Medium statt, so wird hierdurch sowohl die Amplitude der Schwingungen als auch das Gesetz der Schwingungen modificirt. Ferner werden in Folge der Bewegung Dichtigkeitsveränderungen des Mediums in unmittelbarer Nähe der Quelle stattfinden. Welchen Einfluss diese störenden Folgen der Bewegung auf die schliesslich zur Wahrnehmung kommende Welle ausüben, lässt sich gar nicht übersehen, und es lässt sich auch schwer vorstellen, wie man ohne Zuhilfenahme vager Hypothesen dieselben in Rechnung ziehen soll" Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne, p. 154.

(c¹) Cette question vient d'être discutée par M. Oliver Lodge: Nature April 7 1892 „Aberration Problems: a Discussion concerning the connection between Ether and Matter and the Motion of the Ether near the Earth".

(d) Buïjs Ballot: Pogg. Ann. 66 p. 321. Akustische Versuche auf der Niederländischen Eisenbahn nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Hrn. Prof. Doppler.

déterminées. La lumière n'a pas de corps vibrant pour source. Elle a pour source des molécules à atomes vibrants. Ce ne sont que ces molécules à atomes vibrants, qui puissent être comparées avec des diapasons par exemple. Et le corps lumineux entier, bien loin de ressembler à un corps sonore quelconque, ne peut être considéré que comme un espace où voltigent en s'entrechoquant un grand nombre de diapasons semblables (e).

158. On ne voit pas facilement que dans un tel espace lumineux il y ait jamais une phase déterminée. Car les molécules, qui s'y entrechoquent, vibrent dans toutes les directions possibles, produisent par conséquent des ondes simultanées à phases infiniment différentes et changent d'ailleurs incessamment de phase à chaque rencontre nouvelle. Si par conséquent en cherchant à expliquer le principe de Doppler on assimile tout simplement la source lumineuse avec un point vibrant à phases régulières se mouvant par rapport à l'observateur *on ne fait que constater un fait astronomiquement démontré* (155) *mais on ne l'explique pas.*

159. Pour expliquer ce fait on devra démontrer clairement comment les vibrations individuelles des molécules bousculées lumineuses collaborent pour produire des ondes à phases déterminées. Car alors seulement il sera possible de comprendre que, lorsqu'un corps lumineux se déplace il y a, comme dans le déplacement d'un corps sonore, un déplacement d'une phase déterminée. Nous ne nous arrêterons pas ici à cette démonstration, que j'espère discuter plus tard dans ma théorie des étoiles variables; mais je ferai cependant déjà observer maintenant que si, moyennant quelque application de la loi de la résonance, nous pouvons parvenir à voir dans le déplacement d'une matière lumineuse le déplacement d'une phase quelconque et la cause par conséquent du déplacement des raies spectrales, un déplacement pareil des raies s'expliquera tout aussi bien lorsque dans cette même matière tranquille il y a la propagation d'une synthèse, qui cause le déplacement de l'état lumineux. La phase, qui alors à travers les ondes déjà existantes (156 c) se déplace est celle où se trouve toute molécule au moment de sa synthèse, c'est à dire la phase de plus grand éloignement des atomes, phase changeant alors aussitôt en celle du plus grand rapprochement.

(e) H. A. Lorentz: *Beginnelsen der Natuurkunde* 2e deel p. 161. „Maar, terwijl „de molekulen heen- en weervliegen zijn ook hunne bestanddeelen ten opzichte van „elkander in beweging en in *deze* beweging kan de oorsprong der lichttrillingen liggen. Bij deze opvatting zou elk molekuul met een geluidgevend lichaam overeenkomen en zou men het gehele gas kunnen vergelijken met eene ruimte, waarin bijv. een groot aantal gelijke stemvorken heen- en weervliegen”.

160. Il me faudrait entrer ici en trop de détails pour rendre complètement mon idée. Et l'alinéa précédent ne contient par conséquent que le premier mot de l'explication plausible que je crois avoir trouvée et que j'espère publier plus tard. Mais cette lacune, que je regrette, ne porte aucun préjudice à mon raisonnement donné plus haut (155—156). Car tant que les partisans des éruptions solaires n'auront pas démontré que le déplacement des raies spectrales ne pourrait être causé autrement que par le mouvement de la matière lumineuse, ce déplacement n'aura *aucune valeur décisive* pour combattre ma théorie.

161. Il est clair d'ailleurs que, si ma théorie est vraie, on ne verra le déplacement des raies que tant que la lumière, qu'on observe est principalement due à ces molécules dont la formation successive vient de causer le déplacement de la forme lumineuse. Voilà pourquoi le déplacement des raies dans les protubérances n'est pas un phénomène constant. On l'observe souvent, mais pas toujours et principalement lorsque les protubérances changent rapidement de forme (*f*). Si la lumière à longueur d'onde anormale n'est produite que par un nombre relativement petit de molécules, elle est néanmoins relativement très intense. Car elle résulte comme luminescence du premier choc des atomes. La lumière normale sera généralement plus faible, car, quelque grand que soit le nombre des molécules qui l'émettent, elle n'est produite que par des molécules, dont le mouvement vibratoire s'éteint (122 bis).

162. Ce ne sont pas seulement les considérations précédentes, qui démontrent la fausseté de l'assertion que le déplacement des raies prouverait *nécessairement* le déplacement de la source lumineuse. On connaît en outre un grand nombre d'observations, qui toutes ont prouvé avec évidence qu'un *déplacement des raies spectrales s'observe souvent sans qu'il y ait le moindre mouvement dans la source lumineuse.*

163. Ces observations nombreuses ont été faites par M. M. Zöllner (*g*), J. J. Müller (*h*), Lockyer (*i*), Liveing, Dewar (*j*),

(*f*) Lockyer: Chem. of the Sun p. 118. Contortions of Spectral lines. — Young: Elements of Astron. 1890 p. 140, 143.

(*g*) Zöllner: Ber. d. Sachs. Geselsch. d. Wiss. 31 Oct. 1870 p. 233.

(*h*) Müller: Leipz. Ber. 1871 — Pogg. Ann. 150 (1873) p. 311.

(*i*) Lockyer: Phil. Trans. (1874) p. 805 — Proc. Royal Soc. 28 (1879) p. 428.

(*j*) Liveing a. Dewar: Proc. Royal Soc. 28 p. 367.

Schuster (*k*), Ciamician (*l*), qui tous ont prouvé que l'élargissement que nous montrent les raies *lorsqu'on augmente la pression* de la source lumineuse (ou la température quelquefois (*m*)) est très souvent plus considérable d'un côté que de l'autre et *produit par conséquent un déplacement de la raie* (*n*). M. M. Stokes, Lockyer (*o*), W. Vogel (*p*), Hagenbach (*q*), Claes (*r*) et Kundt (*s*) ont fait remarquer en outre qu'un déplacement des raies d'absorption se produit aussi lorsque dans le cas d'une solution *on change de dissolvant* ou lorsque dans le cas d'un mélange gazeux on change de gaz délayant (*t*). Dans le cas de ces raies d'absorption le phénomène est du même ordre sans doute que le déplacement qu'ont observé M. M. Russell (*u*), A. Mitscherlich (*v*) et Lecoq de Boisbaudran (*w*) dans les raies de divers éléments, du barium par exemple, lorsqu'après le chlorure on soumettait le bromure et le jodure à l'analyse spectrale, déplacement qu'on verra du côté du violet si dans la flamme du bromure on introduit un peu de chlore (*w*¹).

(*k*) Schuster: Nature (1875) 17 p. 148.

(*l*) Ciamician: Wiener Ber. 78 (1878) p. 886.

(*m*) Roscoe: Die Spectralanalyse 3e. Aufl. 1890 p. 148 — Proc. Roy. Soc. 21 (1873) p. 232 — Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne 1890 p. 143.

(*n*) Schuster: Die Spectralanalyse v. Roscoe (1890) p. 148.

(*o*) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 369.

(*p*) W. Vogel: Pract. Spectr. Analyse p. 248 — Monatsberichte der Akad. der Wissensch. (20 Mai 1878).

(*q*) Lockyer: Chem. of the Sun p. 369 — Spectr. Anal. v. Roscoe (1890) fig. 63 (4, 5, 6).

(*r*) Claes: Wiedem. Ann. 3 (1878) p. 389.

(*s*) Kundt: Wiedem. Ann. 4 (1878) p. 34.

(*t*) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 370 — Nature, Vol. XXVII p. 233.

(*u*) Russell: Phil. Trans. (1881) p. 887 — Proc. Roy. Soc. 32 p. 258. — Die Spectralanalyse v. Roscoe (1890) p. 173.

(*v*) Mitscherlich: Ann. Phys. Chem. 121 p. 3.

(*w*) Roscoe: Spectralanalyse (1890) p. 163.

(*w*¹) Il est d'autant plus remarquable qu'on tient si peu compte de ces observations multiples, que d'après l'hypothèse encore généralement adoptée des bouleversements solaires il y aurait dans l'atmosphère du soleil des changements incessants et considérables de pression, de température et de composition, changements, qui d'après les observations citées plus haut devraient avoir leur influence sur le déplacement des raies. Si la possibilité de cette influence est énoncée quelquefois, on la considère toujours comme nullement importante. Voici par exemple une Note toute récente de M. Deslandres: «Le déplacement était le plus fort du côté du rouge et correspondait à une vitesse radiale de 200 K m. à la seconde . . . L'élargissement des raies peut tenir en partie à d'autres causes, par ex. à une très grande élévation de temp.; mais comme les raies ordinairement toujours fines, comme la raie de l'hélium

164. En présence de ces observations nombreuses prouvant toutes qu'une source lumineuse peut être en repos complet et causer cependant le déplacement des raies spectrales, *l'assertion des astrophysiciens que ce déplacement prouverait nécessairement le mouvement de la matière lumineuse perd même jusqu'à l'apparence d'être plus ou moins fondée*. L'hypothèse des bouleversements solaires est sérieusement menacée ainsi jusque dans son dernier réduit (152—154). Pourquoi alors maintenir plus longtemps cette hypothèse stérile et continuer à voir dans les phénomènes nullement mystérieux de notre astre du jour les allures incompréhensibles d'un soleil de feu d'artifice!

165. Notre soleil est autrement majestueux. Il suffit d'ailleurs de le débarrasser des éruptions prodigieuses dont on l'a affublé et qui l'ont rendu méconnaissable, pour lui voir aussitôt dévoiler ses mystères. Ma théorie est là pour le prouver. Une théorie comme la mienne, qui, partant de deux principes fort simples, explique la plupart des phénomènes principaux du soleil, quelquefois même jusque dans leurs moindres détails, ne reculera que devant quelque contradiction évidente avec la réalité. Or une telle contradiction n'existe pas, que je sache, et sous ce rapport le déplacement des raies spectrales n'a rien de bien convaincant. Mon interprétation de ce déplacement a été d'ailleurs déjà favorablement accueillie par M. Fowler, qui dans l'Aperçu de ma théorie, qu'il a donné dans le Journal anglais „Nature” déclare expressément n'avoir aucune raison de différer avec moi dans cette explication nouvelle (x).

ont participé à l'élargissement, cette explication n'est pas la plus probable. De toute façon (c'est moi, qui souligne) la grandeur du phénomène est exprimée d'une manière simple et complète en fraction de longueur d'onde ou en Kilomètres.” Deslandres: Compt. Rendus du 14 Mars 1892. Sur une protubérance remarquable, p. 579. — Dans les étoiles variables et les étoiles temporaires (68, 210, 323) comme dans la Nova Aurigae d'aujourd'hui le déplacement des raies spectrales est toujours interprété de même comme si toutes les observations citées dans cet alinéa n'avaient jamais été faites et comme s'il n'y avait pas d'autre cause possible que le déplacement de la source lumineuse. De là tous ces astres, qu'on s'imaginait tourner les uns autour des autres dans l'espace de quelques jours ou de quelques heures peut-être!

(x) A. Fowler: Nature, March 21, 1889, p. 493; Variable stars and the constitution of the Sun. „Dr. Brester believes that the apparent motions of the protuberances are not real but simply indicate the displacement of the luminous condition brought about by chemical combinations in tranquil matter. This he believes to be quite consistent with the observed displacements of the prominence lines and we see no reason to differ with him.”

CHAPITRE III.

EXPLICATION DE LA COURONNE.

§ 1.

Explication des phénomènes divers que présente la Couronne.

166. Les filaments brillants, les rayons, les banderolles et les nappes de lumière perlée, qui à l'entour du soleil éclipsé forment l'auréole de lumière qu'on nomme la couronne, sont les endroits où dans l'enveloppe gazeuse et incandescente du soleil un refroidissement local et passager fait condenser une poussière nuageuse incandescente.

167. Cette poussière nuageuse incandescente émet une lumière blanche à spectre continu. Mais comme elle réfléchit en outre la lumière de la photosphère, la lumière blanche résultante est plus ou moins polarisée (*ij*) et montre des raies obscures de Fraunhofer à l'analyse spectrale (*z*). L'enveloppe gazeuse continue et aplatie, où le refroidissement fait apparaître ces éléments de structure poussiéreux,

(*ij*) Liais: *L'Espace céleste et la Nature tropicale* (1858) p. 174 — Secchi: *le Soleil I* p. 353 — Campbell: *Proc. Royal Soc.* 17 p. 123.

(*z*) Janssen (1871) *Chemistry of the Sun* p. 365. — Young: *le Soleil* p. 189. Tout comme dans mon explication des protubérances (152) mes idées se rapprochent encore ici de celles de M. Young. Voici par exemple ce que M. Young dit des éléments de structure de la couronne: (loc. cit. p. 191). «Il faut donc en conclure que la matière gazeuse de la couronne forme une atmosphère assez régulière autour du soleil, et que les éléments de structure, rayons, fragments et banderolles sont principalement dus à un brouillard ou à une poussière» Voir aussi mon alinea 202. — Le spectre coronal montre si peu distinctement les raies de Fraunhofer qu'il est impossible que la couronne doive son éclat blanc à la réflexion des rayons photosphériques seulement. La poussière coronale émet en outre une lumière blanche, qui lui est propre, donnant elle aussi un spectre continu (Scheiner: *Die Spectralanalyse der Gestirne* p. 206). «Dies lässt sich mit der Thatsache, dass die Fraunhofer'schen Linien kaum zu erkennen sind, nur dann in Einklang bringen, wenn man annimmt, dass der Haupttheil des continuirlichen Spectrums nicht vom reflectirten Sonnenlichte herrührt, sondern von wirklich glühenden Partikelchen»

est elle-même trop faiblement incandescente pour être vue à l'œil nu. Elle n'en atteste pas moins clairement la réalité de son existence lorsqu'on explore spectroscopiquement l'entourage du soleil éclipsé ; car elle produit alors dans toutes ses parties les raies de l'hydrogène et du coronium (144) et ces raies sont également brillantes dans les crevasses obscures et dans les banderolles brillantes (a).

168. Les phénomènes divers que nous présente la couronne sont du même ordre que ceux des protubérances. Ici comme là (112—117) il y a condensation de matière nuageuse. Or une condensation pareille doit préparer dans le gaz dissocié coronal une éruption de chaleur (65, 111, 315) et cette éruption produite la chaleur ainsi engendrée évaporera de nouveau la matière nuageuse, qui n'aura eu par conséquent qu'une existence éphémère.

169. Or, puisqu'il n'y a que la matière nuageuse, qui dessine les éléments de structure de la couronne, ces éléments de structure doivent être tout aussi éphémères que la matière nuageuse elle-même. Voilà pourquoi les principaux traits de la couronne changent quelquefois d'une manière perceptible dans l'espace de 20 minutes, et pourquoi on a vu quelquefois aussi des mouvements rapides dans les banderolles, qu'on a décrites alors comme ondoyant et vacillant (b) (128).

170. Il est clair d'ailleurs que la matière nuageuse se formera de préférence dans les endroits où la chaleur est le moins intense. De tels endroits se trouvent toujours dans la verticale d'une tache ; car le gaz, dont la cavité de la tache est remplie, quoique d'une température égale à celle de la photosphère, a un pouvoir émissif infiniment moins grand. (44—47, 127, 234). On comprend donc aisément pourquoi, durant la période du maximum des taches les rayons et les banderolles principales de la couronne émanent surtout de la zone où les taches abondent et donnent ainsi à l'auréole de lumière la forme caractéristique d'une étoile à quatre rayons (c).

171. Si ces quatre rayons semblent surgir dans une latitude

(a) Young: le Soleil p. 188 — Am. Journ. of Sc Vol. 48 2e Ser. p. 377 — Abney et Schuster: Phil. Trans. 175 (1884) — Harkness (1869): Washington Observ. App. II p. 60.

(b) Lockyer: Solar Physics p. 294, 377 — Young: le Soleil p. 192. — Lockyer: Nature XVIII p. 457: „Prof. Bass tells me that by confining his attention to the same point for nearly the whole time of totality, the structure came out and seemed to pulsate like an aurora” — Pritchett: Rep. of the Wash. Univ. Ecl. Party, The Eclipse of Januari 1 1889, Nature Dec. 24, 1891: „I could not resist the impression that these filaments (at the north and south limbs of the sun) pulsated.”

(c) Lockyer: Solar Physics p. 276 — Young: le Soleil p. 173.

un peu plus grande que celle des taches (*d*) c'est qu'au lieu de les voir nettement dans leur coupe centrale on les voit diffusément dans la projection de la couronne entière sur la surface du Ciel. La latitude solaire d'où un rayon coronal semble émaner n'est pas nécessairement celle vers laquelle ce rayon se dirige en réalité. La zone polaire par exemple serait complètement dénuée de structure coronale, qu'on y verrait cependant les banderolles et les rayons produits dans les régions des taches. Ces éléments de structure tendront toujours à former un rectangle lumineux, lumineux surtout vers les diagonales où la matière lumineuse se verra dans sa plus grande épaisseur.

172. Cette explication de l'apparence cruciforme et carrée de la couronne (explication que j'ai déjà clairement indiquée en 1888 dans mon premier Essai d'une Théorie du Soleil (*e*)) est complètement identique avec celle que M. Schaeberle vient de proposer comme résultat des observations faites durant l'éclipse du 22 Décembre 1889 (*f*). M. Schaeberle est arrivé en effet à cette conclusion, qui est aussi la mienne, que les éléments de structure de la couronne sont des rayons de matière lumineuse s'élevant perpendiculairement au dessus des zones à taches. Après avoir implanté des aiguilles à la manière de ces rayons dans les zones parallèles d'une boule, il observa l'ombre, qu'une telle boule produit sur un écran et réussit ainsi à reproduire les apparences diverses que présente la couronne. Il va sans dire du reste que, d'après M. Schaeberle, la matière, dont ces rayons lumineux se composent, est jetée dehors par les trous de la photosphère! (41). *Lui aussi fait venir de bien loin, ce qu'on peut trouver à l'endroit même.*

173. Quoique la couronne dans la période du maximum des

(*d*) Secchi : le Soleil I p. 363. — Young : le Soleil p. 192.

(*e*) Brester : Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles Variables, 1888 p. 44 (note) „Mon explication de la queue des comètes, si elle est juste, conduira probablement aussi à celle des rayons dans la couronne solaire, qui se montrant surtout durant la période du maximum des taches et alors précisément au dessus des zones où les taches abondent, semblent être l'effet du froid relatif que causent les taches en vertu de leur moindre pouvoir émissif.

„Les taches favorisent pour la même raison la formation des protubérances dans leur voisinage. Les protubérances, l'auréole coronale et la queue des comètes semblent être des phénomènes tout à fait analogues nous montrant tous trois l'empressement des atomes dissociés par la chaleur à s'associer dès que leur refroidissement le permet.”

(*f*) Schaeberle : Publ. Astr. Soc. of the Pacific, No. 7. — Nature May 15, 1890. — Dr. F. Koerber : Himmel und Erde II, Juli 1890, p. 481. Zwei neue Theorien der Sonnencorona.

taches ait généralement une tendance à prendre l'aspect expliqué du rectangle décrit à diagonales élargies lumineuses, chaque éclipse présente cependant des éléments de structure que l'on ne peut soumettre à une règle aussi simple. On voit souvent de sombres crevasses et des masses nébuleuses arondies, que l'on ne peut pas plus ramener à une formule que les formes de la flamme ou du nuage (*g*). Le caractère capricieux de la couronne s'explique facilement si nous tenons compte de l'origine nuageuse du phénomène et de son caractère intermittent. N'oublions pas non plus que les taches ne sont pas uniformément réparties dans les zones où elles se forment et que dans toutes les autres zones de la photosphère il y a encore des pores, des taches voilées (240, 284) et des facules, qui en modifieront le pouvoir émissif et auront par conséquent une influence manifeste sur les condensations locales qu'on voit se dessiner dans la couronne.

174. Il résulte des considérations précédentes que la belle couronne cruciforme du maximum ne nous apprend que bien peu quant à la forme réelle de l'atmosphère coronale. Car les éléments de structure dont elle se compose présentent une figure, qui, au lieu d'être uniformément dessinée par la matière coronale, doit ses traits principaux à l'état accidentel de la photosphère éloignée. Et ces traits, trompeurs par conséquent, sont gênants en outre, parce que leur luminosité empêche la visibilité de traits plus véritables, mais moins fortement éclairés.

175. La couronne cruciforme du maximum étant maintenant expliquée, nous comprendrons aisément pourquoi la couronne du minimum est toujours plus régulière et moins lumineuse (*h*). Car les taches et les facules faisant alors plus ou moins défaut, le pouvoir émissif de la photosphère ne différera pas sensiblement d'une zone à l'autre; et il n'y aura alors aucune raison pourquoi le refroidissement coronal atteindrait dans une zone déterminée une intensité plus grande qu'ailleurs et produirait de la sorte un rayon coronal lumineux nettement précisé. L'absence de ces rayons nettement précisés est la conséquence nécessaire de l'uniformité dans le refroidissement de la matière coronale. Et cette uniformité elle-même répond directement à l'uniformité de la surface photosphérique durant la période du minimum des taches.

(*g*) Young : le Soleil, p. 192. — Arago : Annuaire 1846, p. 322.

(*h*) Clerke : Gesch. d. Astr. p. 233. — Lockyer : Chemistry of the Sun, p. 443 — Harkness : Bull. Phil. Soc. Washington III p. 118 — Ranyard : Mem. R. A. Soc. Vol. XLI (1879).

176. C'est donc durant cette dernière période que l'auréole coronale prendra la forme qui répondra le mieux à la forme régulière de la masse aplatie coronale elle-même (76, 106). Si l'on veut étudier cette forme, c'est donc alors qu'il faudra photographier le soleil éclipsé. Les belles épreuves que M. Barnard a récemment publiées (*i*) ayant été obtenues durant le minimum dernier, ont par conséquent sous ce rapport une valeur très grande (*j*).

§ 2.

Réfutation du raisonnement bien connu, que l'analyse spectrale démontrerait que l'atmosphère solaire aurait même à sa base une densité prodigieusement petite.

177. Le spectroscopie est considéré avec raison comme un des instruments les plus précieux de l'Astrophysique. A peine inventé il a étonné le monde par la mémorable découverte de Kirchhoff que dans le soleil et les étoiles les mêmes éléments existent qu'ici sur notre terre (5). Ce résultat était tellement sublime, il dépassait tellement tout ce qu'on avait cru pouvoir atteindre, que l'Astronomie en est encore toujours sous le coup. Emmerveillée par les informations chimiques que l'instrument nouveau avait si sûrement données tout d'abord, l'Astronomie n'a cessé depuis de lui demander beaucoup d'autres informations encore. Car s'il était important de savoir quels sont les éléments existant dans les corps célestes, l'état physique de ces corps, leur température, leur pression, leur densité, leur constitution devaient intéresser encore beaucoup plus.

178. Mais en demandant au spectroscopie le mot de ces énig-

(i) E. S. Holden: *Himmel und Erde* I p. 444 (avec une belle photogravure).

(j) Un renflement coronal extraordinaire dans le plan de l'écliptique a été observé durant l'éclipse de 1878 par M. M. Newcomb, Cleveland Abbe et Langley (*Wash. Obs. App.* III p. 209 — Clerke: *Geschichte der Astr.* p. 234). Les deux extensions de faible éclairage, que ces observateurs ont vues s'étendre alors jusqu'à une distance de plus de douze diamètres solaires ont été dessinées aussi par Grosch durant l'éclipse de 1867 et déjà en 1715 par Roger Cotes (*Grosch: Astr. Nachr.* N° 1737 — Cotes: *Correspondence with Newton* p. 181). Ce renflement extraordinaire, dont, à propos d'un renflement tout aussi extraordinaire de la planète Uranus dans le plan de ses satellites, (83) j'ai déjà parlé à la page 32 de mon «*Essai d'une théorie du soleil et des étoiles variables*», sera étudié dans la 4^{me} Partie de ma *Théorie*, où nous tacherons d'arriver à une explication de la lumière zodiacale. La position imprévue de l'équateur d'Uranus a été déterminée par M. M. Young, Schiaparelli, Saferik et Wilson en observant le mouvement de ses taches et la direction de ses zones striées (*Schiaparelli: Astr. Nachr.* N° 2526 — *Wilson: Astr. Nachr.* N° 2730 — *Clerke: Geschichte der Astr.* p. 367.) — *Draper: Phil. Mag.* Oct. 1878.

mes lointains on a le plus souvent surtaxé sa puissance. Ses indications ont été interprétées comme si l'instrument merveilleux, qui nous avait sûrement divulgué la composition chimique des astres expliquait sûrement aussi ce qu'évidemment il ne pouvait pas nous faire connaître. De là des conclusions prématurées et mal fondées telles que j'en ai déjà signalées dans les chapitres précédents (47, 150—165) et que j'en rappellerai encore bien d'autres dans ma théorie des Etoiles et des Nébuleuses (*k*). De là aussi l'opinion généralement adoptée que l'analyse spectrale démontrerait que l'atmosphère solaire aurait, même à sa base, une densité prodigieusement petite. C'est cette dernière opinion que je tacherai de réfuter dans le présent paragraphe.

179. Rappelons nous tout d'abord que, comme le dit M. Young (*l*) „tout le monde admet maintenant la présence d'une atmosphère solaire de gaz incandescents qui s'élèvent jusqu'à une hauteur d'au moins 300000 milles". Secchi de même n'émet aucun doute quant à la grande hauteur de cette atmosphère. „Le Soleil (dit-il) est environné d'une atmosphère très élevée, dont la hauteur est au moins égale à la moitié de son rayon. Elle est plus étendue à l'équateur qu'aux pôles" (*l'*). Or si une telle atmosphère existe, et si dans le soleil la matière n'a pas seulement la même composition chimique, mais obéit aussi aux mêmes lois que chez nous, alors *il est impossible qu'une atmosphère aussi immense ait à sa base une densité infiniment petite* (*m*).

(*k*) Ma théorie des Nébuleuses a déjà été décrite en germe dans mon „Essai d'une Explication chimique des principaux phénomènes lumineux stellaires" Delft, Juillet 1888, p. 21—26 (voir surtout la note au bas de la page 22). „Huggins ayant démontré qu'il y a quelques nébuleuses parfaitement décomposables en étoiles, qui cependant lui ont donné le spectre caractéristique à raies verdâtres, quelle preuve pourrait être plus convaincante, que dans le problème de la résolubilité des nébuleuses le spectroscopie n'a aucune valeur!" Voir aussi les remarques que M. Fowler a faites quant aux nébuleuses G. C. N°. 4499 et G. C. 4827 dans les nos du 7 Août 1890 et du 2 Oct. 1890 du Journal anglais „Nature". — Huggins: Proc. of the Roy. Soc. XIV p. 39. On the Spectrum of the Great Nebula in the Sword-handle of Orion.

(*l*) Young: le Soleil p. 192.

(*l'*) Secchi: le Soleil I p. 391.

(*m*) Young: le Soleil p. 241, 86 — Lockyer: Chem. of the Sun p. 405. — Secchi: le Soleil I p. 391. — Voir aussi mon alinéa 294. — Wilsing: Astr. Nachr. N°. 3039: „Ich nehme an, dass die Dichtigkeit des Sonnengases nur den millionsten Theil der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei normalen Drucke betrage, dass sich die Hülle also in einem Zustande erheblich grösserer Verdünnung befindet, als sie im Vacuum der Luftpumpe erreichbar ist." — Toute autre est l'opinion de M. A. Schmidt, qui dans un livre récent, dont je ne connais encore que l'analyse qu'en a

180. Si par conséquent la finesse des raies de Fraunhofer pouvait démontrer néanmoins la petitesse infinie de cette densité, elle démontrerait en même temps que dans le soleil la matière, en obéissant à des forces complètement mystérieuses, produirait là-haut, ce que nous nommons ici-bas un prodige.

181. Mais nous ne sommes heureusement aucunement forcés d'admettre ce prodige (m^1). Car la finesse des raies de Fraunhofer ne démontre aucunement la petitesse de la densité du gaz absorbant solaire. C'est ce qui me sera facile d'expliquer en faisant voir combien sont faibles les arguments, que je trouve ici à combattre. Voici par exemple le raisonnement que M. Scheiner développe dans son livre tout récent „Die Spectralanalyse der Gestirne” :

182. „On peut admettre (dit-il) que les couches qui sont situées au dessus de la chromosphère, ont une température, qui est déjà comparable avec celles que nous voyons produites dans nos laboratoires. A ces couches s'appliquent donc plus ou moins les considérations qu'a fait connaître Zöllner quant à l'influence de la pression et de la densité sur la largeur des raies spectrales.

183. „Or comme les raies atmosphériques solaires ont à peu près la même apparence que celles que produisent les gaz incandescents dans les tubes de Geissler, nous arrivons donc (dit M. Scheiner) à cette conclusion que la densité de l'atmosphère solaire doit être extraordinairement petite, le nombre des molécules se trouvant dans l'espace de plusieurs milliers de milles étant du même ordre que celui qu'on trouve dans un tube étroit de Geissler.

184. „Et cela n'est pas seulement vrai pour les raies de l'at-

donnée le journal „Himmel und Erde dans sa livraison d'Avril 1892, p. 331, a cherché à démontrer que le Soleil est entouré d'une atmosphère très haute et excessivement dense. (Dr. Aug. Schmidt: Die Strahlenbrechung auf der Sonne. Ein geometrischer Beitrag zur Sonnenphysik. Stuttgart 1891).

(m^1) La force mystérieuse, qu'on a dû imaginer pour expliquer ce prodige, a fait l'objet d'ailleurs de nombreuses études. Clerke: Gesch. d. Astr. p. 249 „Prof. W. A. Norton vom Yale College scheint der erste wirkliche Verfechter der Expulsionstheorie der Sonnenumgebungen gewesen zu sein, in der zweiten (1845) und den späteren Ausgaben seines Treatise on Astronomy.” — Je dois rappeler ici aussi la théorie de M. Schaeberle, déjà citée plus haut (172) et celle de M. Bigelow (The Solar Corona, discussed by spherical harmonics; published by the Smithsonian Institution 1889; Am. Journ. of Science Nov. 1890; Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific N^o. 16). Dans la première ébauche de son hypothèse M. Bigelow attribua l'arrangement des éléments de structure de la couronne à un effet d'électricité statique. Maintenant cependant il ne se prononce plus du tout quant à la nature de la force, qui selon lui produit cet arrangement. (Koerber: Himmel und Erde II p. 479; IV Dec. 1891 p. 133. „Bigelows Theorie, die ihr Urheber, um über die Art der abstossenden Kraft möglichst wenig vorauszusetzen, schlechtweg als Polarisations-Theorie bezeichnet” ...).

„mosphère solaire mais aussi pour les raies d'absorption qui sont „produites dans la photosphère ou immédiatement au dessus.

185. „Le sodium qu'un peu de sel marin fait volatiliser dans „une flamme d'alcool suffit déjà pour causer dans les raies D du „spectre solaire un renforcement notable” (n).

186. Ce raisonnement paraît peu convaincant. Et ce dernier alinéa d'abord : Parce qu'une petite flamme de sodium renforce ici les raies D des rayons infiniment affaiblis, qui du soleil éloigné parviennent jusqu'à nous, une toute petite quantité de sodium renforcerait ces raies là aussi, où à la source même les rayons solaires sont des millions de fois plus intenses, et où par contre le sodium infiniment plus échauffé aurait un pouvoir absorbant infiniment plus petit !

187. Tout le raisonnement de M. Scheiner est du reste très difficile à suivre. Car s'il pose comme première prémisse, d'ailleurs fort discutable (182) „que les couches qui sont situées au dessus de la chromosphère auraient une température déjà comparable avec celles que nous voyons produites dans nos laboratoires”, on sera déjà tout de suite d'accord avec moi que ce n'est pas précisément à la température relativement basse des tubes de Geissler (o) que ces couches incandescentes solaires nous font penser tout d'abord.

188. Mais si, malgré cette première surprise, nous continuons à suivre M. Scheiner dans son raisonnement (183) et ne répugnons

(n) Dr. J. Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne, Leipzig 1890 p. 206: „Man „kann annehmen, dass in den oberhalb der Chromosphäre befindlichen Theilen die „Temp. nicht mehr eine so hohe ist, dass sie nicht einen Vergleich mit irdisch her- „gestellten Temperaturen aushielte. Die von Zöllner gegebenen Betrachtungen über „den Einfluss von Druck und Dichtigkeit auf die Breite und Verwaschenheit der „Linien werden sich also einigermassen auf die Sonnenatmosphäre anwenden lassen, „und man kommt alsdan, da das Aussehen der hellen Linien ungefähr demjenigen „entspricht, welches die Linien glühender Gase in Geissler'schen Röhren bieten, zu „dem Schlusse, dass die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre eine ganz ungemein ge- „ringe sein muss, dass die Anzahl der Gasmolekule, welche sich auf einer Strecke „von vielen tausenden Meilen befinden, von derselben Ordnung sein muss, wie die- „jenige, welche in den wenigen Centimetern einer Geissler'schen Röhre glühen. Es „gilt dies nicht bloss für die Linien der Sonnenatmosphäre, sondern auch für dieje- „nigen Absorptionslinien, welche in oder dicht über der Photosphäre entstehen. Die „geringe Menge glühenden Natriumdampfes in der Flamme einer mit Kochsalz ver- „sehenen Spirituslampe genügt, um eine merkliche Verstärkung der D-Linien im „Sonnenspectrum hervorzubringen.”

(o) Scheiner: loc. cit. p. 146. — B. Weinstein: Himmel und Erde, Aug. 1891 p. 506: Die Theorie des Polarlichts. „Bei 3 m.m. Druck und einer Weite der Röhre „von 30 m.m. fand Wiedemann das Gas noch leuchtend, während die Temp. zwischen „30° und 90° lag Koch sah die Luft in Geisslerschen Röhren noch leuchten, „wenn diese Röhren bis auf 80° unter 0 abgekühlt waren!”

pas peut-être à admettre que la température des couches, dont il parle dans sa première prémisses soit plus ou moins comparable avec celle des tubes relativement froids de Geissler, alors il devient cependant impossible de le suivre plus loin, lorsque nous apercevons (184) que cette première prémisses, déjà incertaine, n'était pour ainsi dire qu'une amorce nous menant sur un terrain entièrement inconnu, lorsque, en d'autres termes, nous voyons que M. Scheiner aboutit à une conclusion, qui au lieu d'être logiquement fondée sur sa première prémisses, n'en tient aucun compte, mais repose uniquement sur la supposition, insoutenable selon moi, que les couches chromosphériques et photosphériques (dont il n'était pas question dans la première prémisses) auraient elles aussi, tout comme *les couches qui sont situées au dessus de la chromosphère* une température déjà comparable avec celle des tubes relativement froids de Geissler.

189. Le raisonnement de M. Scheiner semble donc bien peu persuasif; et ce n'est pas ainsi qu'on nous fera accroire 1^o qu'une atmosphère immense aurait même à sa base une densité infiniment petite et 2^o qu'une absorption aussi énergique que celle, qui produit tout près de la source lumineuse des raies obscures par milliers, serait produite par de minces couches d'un gaz chromosphérique et surtout photosphérique (96), qui à température transcendante aurait une densité infiniment plus petite que le gaz raréfié dans un tube de Geissler.

190. Si d'ailleurs les molécules chromosphériques étaient tellement rares, infiniment plus rares même que celles qui remplissent un tube de Geissler (183), comment expliquer alors qu'à la distance énorme du soleil on voit cependant si clairement briller leurs raies? M. Huggins n'a-t-il pas démontré avec son télescope, qu'en observant le spectre d'un tube de Geissler à hydrogène, une distance de 10 pieds suffit déjà pour éteindre toutes les raies, hormis celle dans le bleu verdâtre (*p*).

191. *Dans l'interprétation du spectre d'un corps éloigné on doit tenir compte de la distance.* Lorsque par exemple un corps céleste quelconque nous présente un spectre à raies très fines, il n'y a aucune raison d'affirmer que ces raies montreraient la même finesse si tout près de la source nous pouvions analyser la lumière. Kirchhoff ayant prouvé qu'une augmentation de pression ou de température élargit bien quelquefois les raies irrégulièrement des deux côtés

(*p*) H. Ebert: Ann. d. Phys. 1888 (33) p. 136. „Ueber der Einfluss der Schwellenwerthe der Lichtempfindung auf den Charakter der Spectra”. — H. J. Klein: Fortschritte der Physik 1887 p. 67.

et les déplace par conséquent (163), mais ne change jamais dans la raie élargie la place de sa plus grande intensité (q) il est donc parfaitement compréhensible que des rayons lumineux, qui analysés à la source stellaire elle-même produiraient des raies fortement élargies, peuvent être tellement affaiblis lorsqu'ils sont arrivés jusqu'à nous, qu'analysés ici, ils ne montrent plus de leurs raies fortement élargies au début que leurs maxima seulement comme autant de raies très fines.

192. Hormis l'influence selon moi trop souvent négligée de la distance il y a encore une autre particularité capitale nous empêchant d'attribuer avec certitude la ressemblance de deux spectres quelconques à une ressemblance correspondante dans les conditions physiques des sources lumineuses qu'on compare.

193. Cette particularité c'est le fait bien connu que malgré les considérations qu'ont fait connaître Zöllner (182) et d'autres (r) quant à l'influence de la pression et de la température sur la largeur des raies spectrales, cette largeur dépend aussi de beaucoup d'autres circonstances, encore insuffisamment étudiées aujourd'hui. Rappelons nous par exemple 1^o qu'une couche mince mais dense est spectroscopiquement équivalente avec une couche épaisse mais de petite densité (s), 2^o que M. Hasselberg a démontré (à propos du spectre cométaire I de 1882) que, tout comme M. E. Wiedemann l'avait déjà prouvé plus tôt, des quantités relativement grandes de certains gaz peuvent être présentes dans des tubes de Geissler sans manifester des raies lorsqu'elles sont mélangées avec certains autres gaz (t), 3^o que ce n'est nullement une loi certaine que les raies s'aminciraient toujours lorsque la densité gazeuse diminue. (D'après M. Roscoe et les expériences de M.M. Liveing et Dewar (u) c'est quelquefois le

(q) Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne p. 143.

(r) A. Schuster: Spectralanalyse v. Roscoe 1890 p. 145, Ueber den Einfluss der Temperatur und des Druckes auf die Spectra der Gase.

(s) Scheiner: loc. cit. p. 144. „Durch den Umstand der spectroscopischen Aequivalenz der Dichtigkeit und der Dicke einer strahlenden Gasschicht wird die Beurtheilung der Constitution eines Himmelkörpers aus dem Anblicke der Spectrallinien reinigermassen erschwert.“

(t) Hasselberg: Astr. Nachr. N^o. 2441 p. 259 — Huggins: Ueber das photogr. Spectrum des Kometen (Wells) I 1882, Roscoe Spectr. Anal. 1890 p. 339. — E. Wiedemann: Pogg. Ann. Bd. 5 p. 500 — Scheiner: Spectr. d. Gest. p. 239 — Lockyer: The meteoritic hypothesis p. 240. — Voir aussi la note (p) sous mon alinéa 144.

(u) Liveing et Dewar: Proc. Roy. Soc. 29, p. 482 — Spectralanalyse v. Roscoe 1890 p. 153. „Die Erfolgung der Erhöhung des Druckes auf die Linien war sehr merkwürdig. Zuerst verschwand das Bandenspectrum, dann zogen sich die verschwommene Ränder der D-Linien zusammen bis die Linien scharf wurden“ — H. E. Roscoe: Spectralanalyse 1890 p. 124.

contraire qui a lieu), 4^o qu'il résulte des expériences de M.M. Liveing, Dewar, Wüllner, E. Wiedemann et d'autres que le spectre produit par une flamme ou un tube de Geissler ne dépend aucunement d'une manière certaine de la température (187). Toutes ces déficiences de l'analyse spectrale viennent d'être longuement développées par M. Huggins dans son Discours d'ouverture du dernier Congrès de l'Association Britannique (v). Rappelons nous, 5^o qu'un gaz raréfié est spectroscopiquement équivalent avec un gaz à grande densité, si de ce gaz à grande densité le gaz à observer ne forme qu'une petite partie. C'est ainsi par exemple que M. Lockyer a démontré que, même à la pression de notre atmosphère, l'oxygène ou l'azote donnent des raies très nettes lorsqu'on mélange un de ces gaz avec une grande quantité de l'autre (w). Et n'oublions pas, 6^o que, d'après les expériences de M.M. W. Siemens et Pringsheim (122 bis), des quantités énormes de gaz incandescent peuvent être présentes sans produire de raies et que ce ne sont, outre les molécules physique-

(v) W. Huggins: Inaug. Address, Nature, Aug. 20, 1891 p. 373: "...there appears to be no certain direct relation between the luminous radiation as shown in the spectroscope and the temp. of the flame, or of the gaseous contents of the vacuum tube — that is, in the usual sense of the term as applied to the mean motion of the molecules. In both cases, the vibratory motions within the molecules to which their luminosity is due are almost always much greater than would be produced by encounters of molecules having motions of translation no greater than the average motions which characterise the temperature of the gases as a whole. The temp. of a vacuum tube through which an electric discharge is taking place may be low, as shown by a thermometer, quite apart of the consideration of the extreme smallness of the mass of gas, but the vibrations of the luminous molecules must be violent in whatever way we suppose them to be set up by the discharge; ... Not less caution is needed if we endeavour to argue from the broadening of lines and the coming in of a continuous spectrum as to the relative pressure of the gas in the celestial atmospheres... it is doubtful if pressure, as distinguished from quantity, does produce an increase of the breadth of the lines ..."

(w) Schuster: Spectralanalyse v. Roscoe 1890 p. 153: „Was nun nochmals die Verbreiterung der Spectrallinien betrifft, so haben wir noch die wichtige Frage aufzuwerfen, ob es einerlei sei, ob Druckvermehrung durch eine Atmosphäre ähnlicher oder unähnlicher Moleküle hervorgebracht werde, und wir müssen die Frage dahin beantworten, dass allerdings eine Umgebung chemisch gleicher Moleküle die Verbreiterung erleichtert. So brauchen wir nur hier zu erwähnen, dass Lockyer (Phil. Mag. 6, 161, 1878) beobachtete wie selbst bei Atmosphärendruck die Linien des Sauerstoffs und Stickstoffs scharf sind, falls man ein jedes Gas mit einer grossen Quantität des andern mischt. Das in geringer Quantität vorhandene Gas zeigt scharfe Linien. Wenn wir also finden, dass die Natriumlinien sich verbreitern, wenn man grössere Quantitäten des Metalles oder eines Salzes in die Flamme einführt, so müssen wir viele Umstände berücksichtigen, und dürfen nicht einfach annehmen, dass es nur die grössere Dicke der leuchtenden Schicht ist, die die Verbreiterung hervorgebracht hat.“

ment condensées, que les molécules chimiquement ou électriquement excitées, qui puissent être découvertes par le spectroscope.

194. Il résulte des considérations précédentes que la finesse des raies spectrales, que produit l'atmosphère solaire, ne prouve aucunement que cette atmosphère aurait une densité prodigieusement petite. Si d'autres considérations (81, 105, 179, 180 etc.) nous forcent à supposer que les couches inférieures de l'atmosphère solaire ont une densité excessivement grande, le spectre solaire, bien loin de renverser cette supposition, la supporte au contraire. Car si la plupart des raies de Fraunhofer naissent dans les couches photosphériques (96) il serait bien difficile d'expliquer l'absorption énergique qu'ainsi ces couches accusent, si leur peu d'épaisseur et leur température transcendante n'étaient fortement compensés par une *très grande densité*.

§ 3.

Réfutation de l'opinion généralement adoptée que la résistance infiniment petite, qu'oppose la couronne au passage des comètes, démontrerait la petitesse infinie de la densité de l'atmosphère du soleil (x).

195. La question de la densité de l'atmosphère coronale du soleil me donnant lieu de dire déjà ici un mot des comètes, je tâcherai tout d'abord d'expliquer que les comètes ne sont pas des astres à balais ou à queues, tels qu'ils existent encore dans l'imagination de tout le monde, mais des astres sans queues, comme tous les autres astres du monde, dont elles ne se distinguent uniquement que par la petitesse excessive de leur masse volumineuse. Si je me permets ici cette courte digression ce n'est pas seulement pour tâcher d'éclaircir l'intéressante question coronale, que je viens de rappeler, mais c'est surtout aussi, parce que ma théorie des comètes, se basant sur les mêmes principes que ma théorie du soleil, mais étant beaucoup plus facile à comprendre, constitue pour l'idée fondamentale de ma théorie générale une illustration frappante, dont le lecteur appréciera facilement, j'espère, le caractère convaincant.

196. Si Olbers, Bessel, Zöllner, Norton, Pape, Winnecke, Faye, Roche et Bredichin (j) ont cherché à démontrer que le phénomène

(x) Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 207. — Clerke: Gesch. d. Astr. 1889 p. 249 — Young: Elem. of Astronomy p. 147.

(j) Olbers: Zach's Monatl. Corr. Jan. 1812, Ueber den Schweif des grossen Cometen von 1811. — Bessel: Astr. Nachr. Feb. 1836, Beobachtungen über die Be-

de la queue des comètes pouvait être expliqué par l'hypothèse d'une force héliofuge repoussant la matière cométaire, cette hypothèse suggère cependant de bien graves objections. J'en citerai ici quelques-unes : 1^o le caractère énigmatique de la force héliofuge supposée, force qui produisant des queues quelquefois immenses même à ces comètes qui restent toujours plus éloignées du soleil que nous, ne produit jamais le moindre effet sensible sur la matière terrestre plus rapprochée du soleil ; 2^o l'angle, que fait quelquefois la queue avec le plan de l'orbite cométaire, angle que M.M. Valz et Schiaparelli ont étudié notamment dans les comètes de 1861, 1862 et 1863 (*z*) ; 3^o la direction de la queue ou de son bord antérieur au devant du prolongement du rayon vecteur, direction, impossible d'après la théorie de Bessel, mais observée cependant quelquefois et notamment dans la grande comète de 1862 (*a*) ; 4^o le mouvement des comètes, qui, répondant le plus souvent aux lois de Kepler, s'opère en général comme si l'attraction du soleil existait seule et sa répulsion n'existait pas (*b*) ; 5^o les formes bizarres qu'ont montrées nombre de

schaffenheit der Halley'schen Cometen und dadurch veranlasste Bemerkungen. — Zöllner: Ueber die Natur der Cometen p. 77—158. — Pape: Astr. Nachr. N^o. 1172—1174, Untersuchung über die Erscheinungen des grossen Cometen von 1858. — Zöllner: loc. cit. 252. — Winnecke: Astr. Nachr. N^o. 1196 (1859) Der grosse Comet von 1858 — Mem. der Petersb. Akad. der Wiss. VII N^o. 7 (1864), Pulkowaer Beobachtungen des hellen Cometen von 1862 nebst einigen Bemerkungen, Zöllner l. c. p. 271. — Norton: Am. Journ. of Sc. 32 (2 ser.) p. 57. — Faye: Ann. 1883, Sur la figure des comètes — Lockyer: the Meteoritic hypothesis p. 163 etc. — Roche: Mém. de l'Acad. de Montpellier Vol. II p. 23 etc. — Lockyer: loc. cit. p. 153. — Bredichin: Ann. de l'Obs. de Moscou t. III p. 37 — Bull. Astr. t. III p. 598. — Ann. de l'Obs. de Moscou t. V pt. II p. 137.

(*z*) Oudemans: De Sterrenhemel verklaard door Kaiser p. 347. — Klein: Das Sonnensystem 1871 p. 239 — Winnecke: Mém. de l'Acad. imp. des Sc. de St. Pétersbourg VII tome VI N^o. 1 — Astr. Nachr. (1859) N^o. 1196. — Zöllner: loc. cit. p. 275. — Liais: l'Espace céleste, p. 313.

(*a*) Oudemans: *ibid.* p. 347.

(*b*) Olbers: loc. cit. p. 10. — Bessel l. c. § 17. A propos du jet lumineux oscillant que la comète de Halley fit voir du côté du soleil, Bessel fit la remarque suivante: „Der Anblick der Lebhaftigkeit der Ausströmung, oder vielmehr das anscheinende Verhältniss ihrer Masse zu der Masse des Kerns, muss die Meinung erzeugen, dass die daraus hervorgehende störende Kraft der elliptische Bewegung des Cometen merklich sein könne. Ich hoffe, dass die Reihe meiner Ortsbestimmungen des Cometen, . . . hierüber aufklären wird. Ich gestehe dass ich, wenn keine Wirkung dieser Art sich zeigen sollte, für wahrscheinlicher halten würde, dass der sichtbaren Ausströmung durch entgegengesetzte unsichtbare Ausströmungen entgegengewirkt sei, als dass sie an sich ohne merklichen Einfluss gewesen wäre. Die fleissigen Untersuchungen unseres vortrefflichen Argelanders über die Bewegung des Cometen von 1811 schienen Wirkungen anzudeuten, welche ich mir damals auf eine ähnliche Art

queues, comme par exemple celle d'une trompette le 10 Sept. à la comète de 1811, et le 21 Août à la grande comète de 1862 (c), celle d'un S dans les comètes de 1769 et de Donati (d), celle de rayons s'entrecroisant, dans les comètes de Déc. 1825 et II 1862 etc. (e); 6° la difficulté de s'imaginer comment la force héliofuge supposée rendrait lumineuse la queue qu'elle repousse. Il est bien vrai qu'en admettant que cette force puisse être l'électricité, il semble facile de comparer la luminosité de la queue avec celle des gaz raréfiés de Geissler. Mais n'oublie-t-on pas alors, que les circonstances sont entièrement différentes? Dans les tubes de Geissler le gaz raréfié ne devient lumineux que parce qu'il y est intercalé entre deux électrodes, qui le rendent conducteur d'un courant. Mais dans les queues cométaires on ne voit absolument rien d'une installation analogue. Les bandes du spectre cométaire ressemblent d'ailleurs beaucoup plus à celles que les carbures d'hydrogène produisent dans une flamme de Bunsen qu'à celles qu'elles forment dans un tube de Geissler (208). N'est-il pas bien remarquable aussi que, lorsque le 30 Juin la terre traversa la queue de la grande comète de 1861, ou observa bien une sorte de phosphorescence du ciel, mais pas le moindre dérangement électrique de nos instruments terrestres? (f); 7° les changements d'éclat périodiques, qu'ont présentés beaucoup de comètes, comme par exemple la comète II 1892, où Schmidt reconnut une période de 2,5 jours, les comètes III 1860, de Sept. 1811, de Déc. 1825 (g), de Pons en 1883 (h), de Sawerthal (210) etc.; 8° les changements d'éclat instantanés, qu'on observe si souvent

„zu erklären suchte.“ — A propos de „la nécessité d'introduire une force nouvelle dans le système du monde où la gravitation newtonienne a régné jusqu'ici sans partage,“ M. Faye (Compt. Rend. T. 48 p. 421) dit e. a. „j'étais surtout préoccupé de l'accélération de la comète d'Encke, et j'ai cherché comment la répulsion solaire, dont la figure des comètes nous prouve l'existence, pourrait donner naissance à la composante tangentielle exigée par cette accélération.“

(c) Littrow: Tafereel van het heelal, fig. 95 p. 334 — Oudemans: loc. cit. Plaat IX fig. 3 & 4.

(d) Liais: l'Espace céleste p. 247 — Zöllner: Ueber die Natur der Cometen, Taf. VI, Donatischer Comet beobachtet von Pape.

(e) Secchi: Mem. dell Osserv. del Coll. Romano Vol. II N°. 7, 8 e Tavola — Schmidt: Astr. Beobacht. ueber Cometen 1863. — Schiaparelli: Pubbl. del R. Oss. di Milano N°. 11. — Bredichin: Bull. Soc. Naturalistes de Moscou 1885, Sur les oscillations des jets d'émission dans les Comètes. — Klein: Das Sonnensystem: p. 241.

(f) Clerke: Gesch. d. Astr. p. 395. — Liais: loc. cit. p. 296.

(g) Klein: loc. cit. p. 236 etc.

(h) Chandler: Astr. Nachr. N°. 2553 — Schiaparelli: ibid. — Müller: Ibid N°. 2568.

dans la queue des comètes, changements produisant des lueurs mobiles, dont le mouvement est aisément visible aux yeux avec des vitesses transcendantes surpassant quelquefois de beaucoup la vitesse de la lumière (211); 9^o la formation de queues tout à fait séparées de la tête (212); 10^o l'apparition soudaine de queues immenses ayant par exemple 100 millions de lieues de longueur (212); 11^o le virement de la queue au périhélie d'un angle de 180^o quelquefois en deux heures! (214).

197. Quoique parmi les objections, que je viens d'énumérer, il y en ait sans doute, qu'au moyen d'hypothèses additionnelles on puisse éliminer, il est clair cependant que l'explication de la formation des queues cométaires au moyen d'une répulsion que produirait le soleil, n'est pas à ce degré en accord complet avec tous les phénomènes observés qu'on doit nécessairement la considérer comme définitive. Il est donc fort bien possible qu'une autre explication réussisse mieux. Si j'ai quelque confiance que tel sera le cas de celle que j'ai l'honneur de proposer aujourd'hui, c'est parce qu'en donnant bien moins de prise aux objections citées plus haut, elle a en outre le grand avantage de se passer complètement de toute force hypothétique, imaginée à dessein (*i*). Qu'on ne s'attende pas ici d'ailleurs à une description détaillée de ma théorie des comètes. Je la réserve pour la 3^{me} Partie de ma Théorie générale. Pour le moment il n'y a que mon idée principale qui importe. Cette idée la voici :

198. La matière cométaire, ne se distinguant en rien de toute autre matière et n'obéissant jamais à quelque force héliofuge inconnue, forme des agglomérations plus ou moins sphériques, qui, nous montrant le plus souvent un noyau condensé central et une enveloppe vaporeuse, ressemblent complètement à tous les autres astres du monde et n'acquièrent jamais l'appendice bizarre d'une queue.

199. Lorsque ces agglomérations sphériques se rapprochent du soleil, la chaleur de cet astre fait évaporer la matière condensée du noyau. Cette évaporation sera généralement très rapide parce que dans l'atmosphère où elle s'opère la petitesse de la masse cométaire totale ne peut causer qu'une faible pression. Aussi voit-on le plus souvent le noyau diminuer bien vite. Quelquefois même au périhélie le noyau a presque disparu tout à fait. C'est ce qu'on a observé

(*i*) Is. Newton: Phil. nat. Princ. math. Lib. III. „Causas rerum naturalium non „plures admitti debere, quam quae et verae sint et earum phaenomenis explicandis „sufficiant. Dicunt utique philosophi: Natura nihil agit frustra, et frustra sit per „plura quod fieri potest per pauciora. Natura enim simplex est et rerum causis „superfluis non luxuriat.”

dans la comète de Halley (*j*) et dans les comètes I 1880 et de Thome en 1887 (*k*). Dans la comète de Donati le noyau présenta de même une forte diminution (*l*). Dans celle d'Encke, Pingré constata une diminution du noyau jusqu'à $\frac{1}{11000}$ de son volume primitif (*m*). La matière évaporée du noyau se répandant alors dans l'enveloppe gazeuse invisible y prendra un volume énorme, et ce volume sera d'autant plus grand que la gravitation nécessairement petite de l'insignifiante masse cométaire totale ne peut s'opposer que faiblement à l'expansion des vapeurs réchauffées par le soleil (*n*).

200. L'atmosphère immense développée de la sorte se compose donc principalement de substances, qui ne sont gazeuses, évaporées ou dissociées que parce qu'elles viennent d'être disgrégées ainsi par la chaleur du soleil rapproché. Si telle est l'unique cause de leur disgrégation, *elles doivent donc s'agrèger de nouveau dès que le moindre refroidissement le permet.* Or un refroidissement quelconque doit toujours exister du côté de la comète, qui est détourné du soleil. Car 1^o il y a là l'ombre et la pénombre des parties condensées centrales et 2^o les rayons solaires y arrivent diminués en outre et par une plus grande distance de la source et par l'action absorbante de la moitié cométaire déjà traversée, moitié d'ailleurs fortement allongée par un effet de marée produit par le soleil.

201. A mesure donc, qu'en vertu de la révolution de la comète autour du soleil (et peut-être aussi de sa rotation sur l'axe) les différents secteurs de la masse cométaire arrivent à tour de rôle du côté indiqué à froideur relative, les substances tout récemment

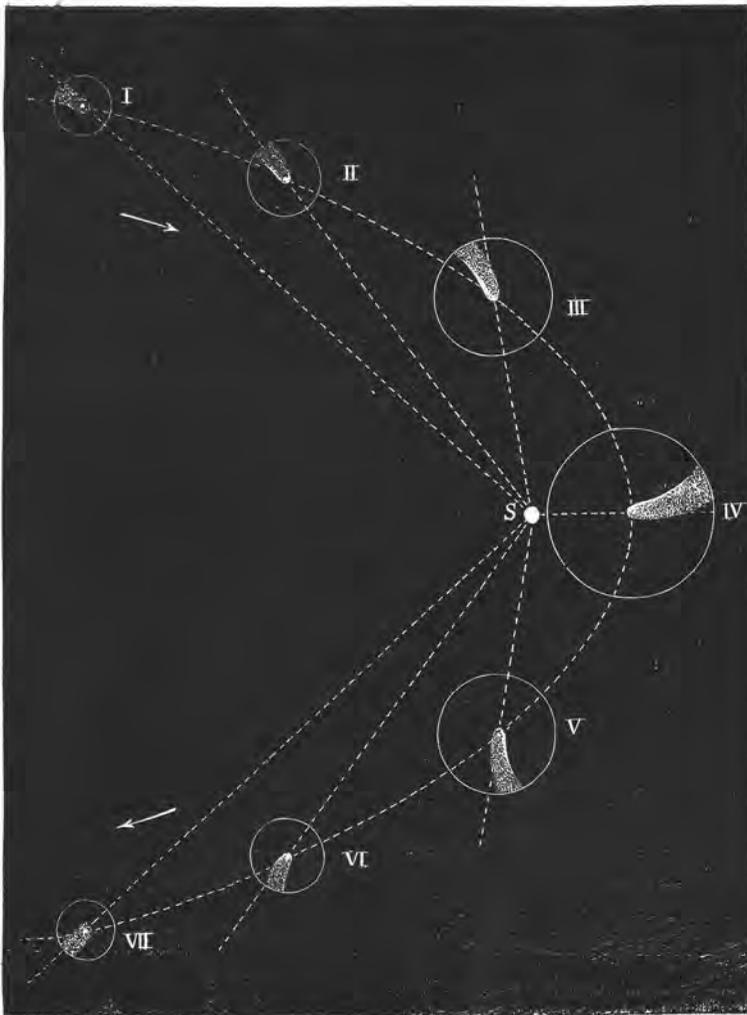
(*j*) J. Herschel: Results of Astr. Obs. p. 401. La comète de Halley en 1835 perdit et sa tête et sa queue avant d'être arrivé le 16 Nov. au périhélie, et elle ne les recouvrit que plus de deux mois plus tard. Le 23 Janvier Boguslawski revit le noyau de la comète sans disque mesurable, comme une étoile de 6^{me} grandeur. Deux nuits plus tard sa tête nouvelle avait déjà un diamètre de 131 secondes (Maclear: Mem. R. A. S. Vol. X p. 92). La tête revint alors avec une vitesse tellement grande que Herschel ne put douter «que la comète avait été complètement évaporée et changée en vapeur transparente au périhélie, et que maintenant en refroidissant elle se condensait de nouveau tout autour du noyau.» Clerke: Gesch. d. Astr. p. 134. — Winnecke: Astr. Nachr. N^o. 1196. Der grosse Comet von 1858 p. 310.

(*k*) Clerke: Gesch. d. Astr. p. 422, 436.

(*l*) Winnecke: Astr. Nachr. N^o. 1196 (1859) p. 309, Der grosse Comet von 1858.

(*m*) Pingré, Arago: Annuaire 1832 p. 218. — Hind: The Comets p. 20. — Humboldt: Cosmos 1^{ste} Deel 1^{ste} Af. p. 114. — Hevelius et Valz constatèrent de même la diminution décrite.

(*n*) Zöllner: Ueber die Natur der Cometen; Stabilität Kosmischer Massen p. 79 etc. — Faye: Ann. 1883, Sur la figure des Comètes Action décomposante du Soleil sur les comètes p. 725.



évaporées et dissociées dont le gaz cométaire se compose, s'y agrégeront de nouveau et causeront ainsi, du côté détourné du soleil, un phénomène lumineux, qui dû en partie à l'action réfléchissante de la poussière nouvellement condensée et partiellement aussi à la luminescence chimique (66, 119, 122 bis) de la matière récombinée, sera complètement indentique avec les protubérances et les rayons de la couronne, et constituera ainsi dans l'intérieur de la masse cométaire un secteur lumineux tranquille, qu'on a toujours considéré comme une queue extérieure véritable, mystérieusement produite et repoussée par le soleil (o).

(o) Mon explication de la queue des comètes a quelque ressemblance avec celle qu'a proposée M. Tyndall (Kometentheorie, Wärme als Art der Bewegung (1871)

202. La grande ressemblance des queues de comètes avec les rayons de la couronne a été souvent relevée comme un fait encore inexplicé mais très important (*p*): „Il semble bien probable”, dit M. Young (*q*), „que les phénomènes de queues de comètes et des „banderolles de l'aurore sont des phénomènes du même ordre que „ceux de la couronne, et quoique jusqu'à présent l'établissement de „ce rapport n'équivaudrait pas à l'explication de la couronne, ce „serait un pas en avant, — pas, qui n'a point du tout été fait, „cependant, il faut l'admettre; et il n'est pas facile de voir à présent „comment il faut attaquer ce problème.” On verra, j'espère, que ma théorie en répondant encore ici aux prévisions de M. Young, semble donner au problème par lui posé une solution bien simple (207).

203. Si les queues sont le plus souvent courbées, la courbure étant dirigée en général vers la région, que quitte la comète, c'est parce que le refroidissement ne peut causer immédiatement les condensations chimiques et physiques, qui rendront la matière lumineuse, mais a besoin d'un certain temps, durant lequel le noyau s'avance (et durant lequel la comète tourne sur l'axe peut-être) avant d'atteindre l'intensité requise (59).

204. Lorsque des comètes, comme le fit par exemple la 4e de 1851, présentent par exception, outre leur queue ordinaire, une queue, qui courte et pointue est dirigée vers le soleil, il semble qu'on doive admettre que l'absorption nommée plus haut (200) comme 2e cause du froid relatif dans le secteur cométaire détourné du soleil puisse être assez forte pour déterminer à elle seule une diminution de température déjà notable en avant du noyau. Mais il se peut aussi que d'autres causes

p. 686). Mais la théorie de M. Tyndall, en ne tenant pas compte de la température élevée des comètes dans le voisinage du soleil, suppose la matière cométaire plus fortement dissociée dans la queue qu'ailleurs, tandis que d'après ma théorie il est évident que c'est justement le contraire, qui doit avoir lieu. La théorie de M. Tyndall ne donne d'ailleurs aucune explication de la lumière propre des comètes et est malheureusement sujette aussi à toutes les objections, qu'a développées Zöllner avec tant d'aigreur dans sa discussion passionnée de l'idée de l'éminent savant anglais. (Ueber die Natur der Cometen p. 165—225). Ma théorie heureusement est à l'abri de ces mêmes objections. — La température élevée des comètes au périhélie a été clairement démontrée par les raies de sodium, de magnésium et même de fer que M. M. Vogel, Hasselberg, Copeland, Lohse, Ricco, Huggins, Duner et Bredichin ont vues dans les spectres des comètes de Sept. 1832 et de Wells, tant que ces astres étaient dans le voisinage du soleil. (Copeland und Lohse: Cop. Bd. II p. 235; Astr. Nachr. N^o. 2434, 2437, 2441; Scheiner: Spectralanalyse der Gestirne p. 237).

(*p*) „Die Ähnlichkeit der silberfarbenen Scheibe der Korona mit der Kometenschweif hat bereits zu vielen fruchtlosen Spekulationen Anlass gegeben.” Clerke: Gesch. d. Astr. p. 244. — Voir aussi Zöllner: Ueb. d. Natur der Cometen, p. 128.

(*q*) Young: le Soleil, p. 193.

collaborent alors pour produire un phénomène tout à fait exceptionnel.

205. Il est clair d'ailleurs que, puisque les queues de comètes sont des lueurs passagères dans une matière agglomérée sous l'influence de la gravitation, elles nous rendront visibles des substances d'autant plus légères que ces queues s'étendront davantage. Ici ma théorie conduit au même résultat que celle de M. Bredichin (*r*), qui lui aussi admet que les queues les plus longues (de 1^{re} classe) sont composées d'hydrogène, que les queues moyennes (de 2^{me} classe) sont riches surtout en carbures d'hydrogène et qu'il n'y a que les queues les plus courtes (de 3^{me} classe) qui puissent nous montrer des métaux et même du fer.

206. Je ne nie pas que parmi les phénomènes, que je viens de rappeler, il n'y en ait (203, 205) que l'hypothèse d'une queue matérielle mystérieusement formée et repoussée par le soleil, explique plus ou moins; mais les comètes présentent en même temps beaucoup d'autres phénomènes, qui, complètement prévus par ma théorie, me semblent peu compatibles avec cette hypothèse d'une queue véritable. Tels sont surtout tous ces changements plus ou moins instantanés, que nous montrent si souvent les figures lumineuses des comètes, changements qu'à partir du numéro 7 j'ai déjà rappelé à l'alinéa 196. Ces phénomènes lumineux soudains sont évidemment du même ordre que les protubérances et les rayons de la couronne. Il est bien difficile d'y voir autre chose qu'un déplacement rapide de l'état lumineux. Car s'ils étaient causés par le déplacement d'une matière lumineuse elle-même, si par exemple l'apparition observée par Kepler (211) d'une queue immense en peu d'instant devait être attribuée à l'apparition soudaine d'une matière lumineuse repoussée en quelques secondes du noyau, il faudrait admettre que la matière cométaire pût marcher infiniment plus vite que la lumière elle-même. Or voilà une vitesse, qui doit sembler impossible même à ceux, qui croient fermement encore aux vitesses exorbitantes dans les éruptions solaires (*s*).

(*r*) Bredichin: Ann. de l'Obs. de Moscou t. III p. 37; Bull. Astr. t. III p. 598; Ann. de l'Obs. de Moscou t. V pt. II p. 137. — Ann. t. VI pt. 1 p. 60.

(*s*) Remarquons à ce propos que, si d'après la théorie d'Olbers et de Bessel la matière cométaire est repoussée avec des vitesses énormes, il résulte cependant de leur calcul que dans les queues, qu'ils ont étudiées, cette matière demandait des jours et des semaines pour arriver du noyau jusqu'à l'extrémité visible de la queue. Dans la comète de 1811, qui avait le 13 Oct. une queue de 12 millions de milles de longueur, cette durée, d'après le calcul de Olbers, était de 11 jours (Olbers: Ueber den Schweif des grossen Cometen von 1811 p. 17); dans la comète de Halley, d'après le calcul de Bessel, de 12 jours (Bessel: Astr. Nachr. Febr. 1836 p. 255); dans la comète de Donati, d'après le calcul de Pape de 35 jours pour la queue

207. S'il est impossible de voir dans ces phénomènes l'effet de mouvements réels dans la matière lumineuse, il est au contraire très facile d'y voir l'effet de la condensation moléculaire qui doit nécessairement se produire dans un secteur cométaire détourné du soleil. Car ce secteur se déplaçant sans cesse (et d'autant plus vite d'ailleurs que la comète s'approchera davantage du soleil) causera toujours un refroidissement dans la matière qu'il viendra envelopper, et y produira alors 1° une poussière condensée, qui en réfléchissant la lumière du soleil rendra compte de la polarisation (*t*) et du spectre continu à raies de Fraunhofer, qu'on a découverts dans la lumière cométaire (*u*), et 2° des combinaisons chimiques nouvellement récombinées, dont la luminescence rendra compte des bandes et des raies brillantes, que le spectre cométaire nous montre aussi (*v*), luminescence, qui, si elle est intermittente d'après mon Principe II, produira des lueurs mobiles. Il y a dans l'intensité de ces deux spectres continu et à bandes brillantes, et surtout aussi dans leur intensité relative, des fluctuations (*w*). Ces fluctuations qu'on a observées

principale et de 10 jours pour la queue moins recourbée antérieure. (Pape: *Untersuch. über die Erscheinungen des grossen Cometen von 1858*, Zöllner: *Über die Natur der Cometen* p. 265).

(*t*) Arago: *Annuaire 1836* p. 233. — *Ann. de Chimie* XIII p. 108. — *Cosmos* 1^e Deel 3^e Af. p. 384.

(*u*) Huggins: *Proc. Royal Soc.* XXXII N^o. 213; *Astr. Nachr.* N^o. 2385; *Reports of the Brit. Ass.* 1882 p. 442. — Prazmowski: *Compt. Rend.* XCIII p. 262. — Wright: *Am. Journ. of Sc.* (3) XXII p. 142. — Müller: *Astr. Nachr.* N^o. 2453 & 2568. — Vogel: *Astr. Nachr.* N^o. 2570.

(*v*) Donati: *Spectr. des Cometen* II 1864; *Astr. Nachr.* 62 (375—378). — H. C. Vogel: *Pogg. Ann.* CXLIX p. 400. — Hasselberg: *Mém. de l'Ac. d. Sc. de St. Pétersbourg* XXVIII N^o. 2, Ueber die Spectra der Cometen und ihre Beziehung zu denjenigen gewisser Kohlenwasserstoffe.

(*w*) „Am 30 Juni 1881 wurden die Kohlenwasserstoffbanden von Vogel zu Potsdam „sognr bis zum Ende des Schweifes verfolgt (*Astr. Nachr.* N^o. 2395) und von Young „in grösserer Entfernung von dem Kerne wahrgenommen, als das gleichförmiger „zerstreute Licht. Es scheint nur wenig zweifelhaft zu sein, dass, wie in der Korona der Sonne, die relative Stärke der beiden Arten von Spektren Schwankungen „unterworfen is.“ Clerke: *Gesch. d. Astr.* p. 427, Tebbutt's Komet von 1881. — „Whence, we may ask, arises the divergence of conclusions arrived at by M. Fiévez „and Prof. Wright respectively, the one considering that the principal part of the „comets light is from itself, the other that it is reflected sunlight, and why were the „Fraunhofer lines seen in the one case and not in the other? The answer lies, I „think, not with the instruments employed, but rather in the interesting probability „of change in the comet's structure or condition during the time of its examination“ I. Rand Capron: *Nature* Sept. 8, 1881. — „Copeland (*Copern.* II p. 227) says of „the above comet: The spectrum seemed to change in intensity from moment to „moment like a dancing aurora borealis“ Lockyer: *The Met. Hypoth.* p. 177.

aussi dans la lumière des protubérances et des rayons de la couronne (111—118, 169) établissent une ressemblance de plus entre ces trois phénomènes lumineux (202) et cette ressemblance est ici d'autant plus remarquable, qu'elle répond à une prévision évidente de ma théorie, c'est à dire à l'existence intermittente de molécules R condensées (6), 111). Cette existence intermittente a été démontrée en outre par les fluctuations considérables, mais de courte durée, que M. Wright a constatées dans la polarisation de la lumière de la comète c 1881 (x).

208. La position des bandes spectrales répond bien mieux aussi à mon explication chimique de la lumière cométaire qu'à l'explication électrique. M. Young par ex. vit le spectre de la comète b 1881 ressembler exactement à celui d'une flamme de Bunsen mais différer complètement de celui d'un tube de Geissler à gaz hydrocarboné (ij). Si cette observation remarquable, qui a été parfaitement confirmée par celles de M. M. Christie, Maunder (z), Thollon (a), et Fiévez (b) n'a pas donné le coup de grace à l'hypothèse électrique, c'est parce que, comme je l'ai déjà expliqué plus haut (155, 178), il y a, en analyse spectrale bien peu de faits, qui ne se prêtent également bien à des interprétations très diverses. Piazzzi Smyth fit remarquer tout d'abord que l'hypothèse électrique ne semblait ici en défaut que parce que les courants employés jusqu'alors dans les tubes de Geiss-

(x) Wright: Am. Journ. of Sc. 3^e Ser. XXII p. 374. "The polarization was subject to considerable variations of an irregular character and comparatively brief duration".

(ij) Young: Am. Journ. of Sc. 3^e Ser. XXII p. 136. "All the comparisons concur in showing a close, and so far as the dispersive power employed could decide an exact agreement between the spectra of the comet and that of the Bunsen flame. On the other hand the discordance between the comet spectrum and the spectrum of the Geissler tubes was striking the evidence as to the identity of the flame and comet spectra is almost overwhelming". — "O fût-il possible", écrivit Bessel à Olbers, "d'examiner si la lumière des comètes est électrique ou non!" (Briefwechsel zwischen Olbers und Bessel Bd. II p. 390, 20 Jan. 1835). Bessel se flatta que le résultat d'un tel examen (encore impossible alors) serait favorable à son hypothèse de la répulsion électrique des queues cométaires. Mais maintenant que le spectroscopie a été employé pour faire l'examen indiqué, le résultat de cet examen ne paraît guère répondre à l'attente du grand astronome.

(z) Christie and Maunder: Monthl. Not. Nov. 1881 p. 14—19. On the Spectra of Comets b and c 1881 observed at the R. Obs. Greenwich.

(a) Thollon: Nature, July 21 1881 p. 262.

(b) "This conclusion of the eminent American physicist Prof. C. A. Young is confirmed by a pamphlet just received from M. Fiévez, the spectroscopic observer of the reorganised R. Obs. of Brussels" Piazzzi Smyth: Nature, Sept. 8, 1881 p. 430.

ler étaient plus forts que les courants supposés cométaires (c). Et tout le monde sait que M. Lockyer en appliquant résolûment son hypothèse ingénieuse de l'origine météorique de tous les corps incandescents célestes, a réussi à rendre compte de la plupart des spectres stellaires et cométaires en expliquant qu'une bande lumineuse quelconque coïncidant imparfaitement avec la bande d'une autre matière doit se montrer déplacée, élargie si cette dernière bande est lumineuse comme elle, rétrécie au contraire si elle est une bande d'absorption. Et c'est ainsi que dans la queue cométaire, dont nous nous occupons maintenant, il y aurait eu, d'après M. Lockyer, outre de la matière carbonée, des vapeurs de magnésium, de manganèse et de plomb (d).

209. Sans vouloir discuter ici l'hypothèse météorique de M. Lockyer, (hypothèse remarquable dont j'aurai à m'occuper longuement dans les 2^{me} et 3^{me} parties de ma Théorie) je dois cependant déjà observer maintenant que, si une interprétation du spectre cométaire nous forçant à admettre qu'une longue queue contiendrait même jusqu'à son extrémité (e) des vapeurs de manganèse et de plomb, n'est pas sans présenter de graves difficultés, mon interprétation est en tout cas infiniment moins compliquée, beaucoup plus naturelle: *Dans la grande ressemblance du spectre d'une queue de comète avec celui d'une flamme de Bunsen je ne vois tout simplement que la preuve que ces deux sources lumineuses se ressemblent et que par conséquent dans la comète tout comme dans la flamme de Bunsen c'est un procès chimique, qui illumine la matière carbonée.* Cette interprétation est tellement naturelle qu'elle a déjà dû se présenter maintes fois. Mais on l'a toujours écartée et considérée même comme impossible et ridicule, parce qu'on se demandait toujours en vain, quelles pourraient être les substances, qui par leur combinaison chimique entretien-

(c) Piazzi Smyth: Nature, Sept. 8, 1881; Tebbutt's Comet. Origination of its Proper Light.

(d) Lockyer: The Meteoritic hypothesis, p. 175, 180, 205 "I have already remarked that Copeland (Cop. II p. 225) observed on 25 June a dark band at 567.9 in the Comet 1881, in addition to the hot carbon radiation. This band was probably due to lead at 568, the first band at 546 being masked by the hot carbon. Manganese absorption was also indicated on the same date" (loc. cit. p. 205) — Diagram showing the Result of the Integration of Hot Carbon, Manganese and Lead Radiations, compared with the spectrum of Comet III 1881. (loc. cit. p. 180).

(e) Young: Am. Journ. of Sc. 3e Ser. XXII p. 136. Spectr. Obs. upon the Comet b 1881: "The spectrum of the tail appears to be a continuous spectrum overlaid by a banded spectrum, the same as that of the coma. The bands in the spectrum of the tail were followed to a distance of about 20' from the head on June 29 and July 1. "The continuous spectrum ceased to be visible before the bands were entirely lost sight of."

draient le feu cométaire (*f*). Il suffit cependant de réfléchir un moment à la dissociation énorme que doit produire l'immense température du soleil rapproché pour comprendre tout de suite que la comète au périhélie est gorgée de matières combinables, et que par conséquent, comme je l'ai expliqué plus haut (200) ces matières devront se récombinaison dès que du côté détourné du soleil un refroidissement quelconque le permet. Cette récombinaison sera d'ailleurs d'autant plus énergique que la décomposition aura été plus complète. Or comme cette décomposition n'est nulle part aussi complète qu'au périhélie lui-même, c'est donc après le passage au périhélie que la queue atteindra le dernier terme de son développement. Cela étant en effet „l'histoire de toutes les grandes comètes” (*g*) j'y vois une preuve de plus de la vérité de mon explication chimique.

210. Il n'est nullement étonnant d'ailleurs que, même très longtemps après le périhélie, quelques comètes ont montré subitement des augmentations considérables d'éclat. Tel a été le phénomène que M. Franz a découvert dans la comète Sawerthal, qui ayant passé au périhélie le 17 Mars 1888 et ayant fortement faibli depuis, montra subitement le 21 Mai une lumière 25 fois plus forte que le jour auparavant (*h*). Une augmentation d'éclat pareille répond complètement aux prévisions de mon Principe II. Elle est l'effet d'une

(*f*) Zöllner: Ueber die Natur der Cometen, p. 112: „Ich überlasse es dem Leser „sich die physikalischen Widersprüche zu entwickeln, zu welchen die Annahme eines „Verbrennungsprocesses bei den Cometen führen würde. Gesetzt aber, man wollt'e „dennoch eine solche Annahme aufrecht erhalten, so müsste offenbar für die Erklärung der Schweifbildung noch eine *zweite* Ursache angenommen werden, da der Verbrennungsprocess als solcher keine Momente zur Erklärung dieser Erscheinung „enthält”. — Jamin: Les Mondes, 25 Août 1881. — Piazzi Smyth: Nature, Sept. 8, 1881. A propos des observations de M. Young (208) M. Smyth s'écrit: „What then! Is M. Jamin's theory of the comet's proper light being entirely due to electrical illumination utterly overthrown, and the celestial phenomenon given over to a process of combustion, the mere mention of the necessary details of which suffices to show it ridiculous and impossible?”

(*g*) Secchi: le Soleil II p. 408. — Sir John Herschel: Traité d'Astronomie 1835 p. 406. — Lockyer: the Met. Hypothesis p. 188.

(*h*) C. F. W. Peters: Himmel und Erde II p. 335, Ueber Kometen und Sternschnuppen. — Himmel und Erde I p. 52, Der Komet Sawerthal, gezeichnet von L. Wutschichowski. — Kreutz: Vierteljahresschrift d. Astr. Ges. 24 Jahrg. p. 10 — Fortschritte der Astr. 1888 p. 75 — Ces changements d'éclat dans les comètes qui s'éteignent sont d'après ma théorie (63, 323) complètement identiques avec ceux qu'on a si clairement observés cette année dans l'étoile temporaire „Nova Aurigae”, qui elle aussi n'a pu s'éteindre sans montrer par intervalles de courts rehaussements d'éclat. Je considère tous ces changements d'éclat passagers comme autant de preuves nouvelles de la vérité de mon Principe II.

éruption de chaleur, que la matière cométaire produira lorsque, après avoir été dissociée par la chaleur du soleil rapproché, elle n'aura pas été prête à se réassocier au moindre refroidissement, mais aura eu besoin d'un refroidissement de plus longue durée pour en finir avec cet état surdissocié instable, et pour produire alors tout d'un coup, et comme pour rattraper le temps perdu, une chaleur d'autant plus forte que le refroidissement aura duré plus longtemps (68). Si ces éruptions de chaleur cométaires ne sont que rarement aussi fortes que celle qu'a montrée la comète de Sawerthal, et si elles ne présentent pas en général cette intermittence plus ou moins régulière, qu'elles font observer dans le Soleil et les étoiles variables, c'est parce qu'en vertu du changement rapide de la distance des comètes au soleil, leurs masses sont exposées à des variations de température trop brusques (62). Les éruptions de chaleur cométaires seront donc nécessairement capricieuses. Ce sont elles, qui d'après ma théorie causent tous ces changements soudains, qu'on a observés dans les queues cométaires. Pour bien faire voir combien tous ces changements soudains répondent parfaitement à mon Principe II, je citerai ici plus en détail quelques descriptions, qu'on en a données :

211. Voici par exemple ce que Liais nous raconte de la queue de la grande comète de 1860 (i) : „La grande comète de 1860 a „offert un phénomène très remarquable et prouvant que si elle n'avait „pas de lumière propre sensible en permanence, elle était cependant „traversée accidentellement par *des lueurs nées dans sa matière*. Le „5 Juillet, au soir, pendant que j'observais en mer cette comète, „je voyais par instants une lumière assez intense naître dans les „portions de la queue les plus éloignées du noyau. Parfois comme „instantanées, et paraissant sur une petite extension de l'extrémité „de la queue, qui alors devenait plus visible, les lueurs mobiles rap- „pelaient les pulsations de l'aurore boréale. D'autres fois, elles étaient „plus durables et on suivait leur propagation de proche en proche, „pendant quelques secondes, dans le sens du noyau à l'extrémité de „la queue. Ces apparences ressemblaient alors aux ondulations pro- „gressives de l'aurore polaire ; mais même dans ce cas, elles n'étaient „guère visibles que dans le dernier tiers de la longueur de la queue. „Les lueurs en question étaient, au reste, semblables à celles, que „je me rappelle avoir vues dans la queue de la grande comète de „1843 et qu'un grand nombre d'astronomes ont observées". D'autres observateurs parlent de changements lumineux rapides comparés par

(i) Liais : l'Espace céleste p. 268.

eux à l'apparence de la fumée ou de la flamme d'une bougie agitées par le vent" (*j*). D'après Kepler, la queue de la comète de 1607, de courte qu'elle était, devint longue en un clin d'oeil (*k*). Des variations d'éclat soudains ont été observées aussi par Kepler, Longomontanus, Wendelin, Snell et Cysatus dans la queue de la comète de 1618. Hévélius a noté le même fait pour les comètes de 1652 et de 1661, et Pingré pour celle de 1769. On trouve même des observations du même genre dans des temps très reculés. Les annales de la Chine parlent de variations rapides dans la queue de la comète de 615, et Grégoire de Tours compare aux ondulations de la fumée l'appendice de celle de l'an 582 (*l*). Je dois rappeler ici aussi que dans les comètes multiples, comme celle de Brooks en 1889 (*m*) et celle de Biela en 1846, on a remarqué de même de rapides changements dans l'éclat relatif des nébulosités séparées et l'apparition soudaine de communications bizarres reliant ces nébulosités comme par une sorte de pont lumineux temporaire (*n*). Arago admet aussi que „dans le noyau d'une comète, dans la totalité ou dans quelque partie de sa

(*j*) „Der Schweif des Kometen von 1843 erreichte um die Zeit, da er bei uns sichtbar würde die ungeheure Länge von $43\frac{1}{3}$ Millionen Meilen. (Boguslawski berechnet dass er sich am 21 März auf 126 Millionen Meilen erstreckte — Rep. Brit. Ass. 1845 p. 89). . . . Deutlich wahrnehmbar war an ihm jenes eigenthümliche nordlichtartige Flackern, welches nach der Beschreibung Cardan's den Locken von „Karl V Kometen das Aussehen einer von Winde hin — und her bewegten Kerze gab und das, wie man nicht selten beobachtet hatte, anderen ähnlichen Objecte charakteristisch war Das in Rede stehende Flackern, geht so schnell vorüber wie eine Sternschnuppe." Clerke: Gesch. d. Astr. p. 137 — Young: Elem. of Astr. 1890 p. 267. „The brightness of comets varies rapidly and capriciously without any apparent reason" — Lockyer: the Met. Hyp. p. 169: „It is a fact well worthy of consideration that on many occasions pulsations exactly resembling those observed in aurorae have been observed in comet's tails".

(*k*) „This subject is thus referred to in Guillemin's book on comets: Kepler is the first observer, who has made mention of the changes. Those, says Kepler, who have observed with some degree of attention the comet of 1607 (an apparition of Halley's comet) will bear witness that the tail, short at first, became long in the twinkling of an eye". Lockyer: The Meteor. Hypoth. p. 169.

(*l*) Liais: loc. cit. p. 270 — Lockyer: loc. cit. p. 169.

(*m*) Himmel und Erde II p. 112.

(*n*) „Le 21 Février W. Struve dessina la comète double à l'observatoire de Pulkowa. Il remarqua alors que la partie du ciel comprise entre les deux astres était complètement libre de toute nébulosité. . . . Quelques jours plus tard, Maury aperçut des rayons que la plus grande des deux comètes, celle qui, par sa position dans le ciel, semblait répondre le plus exactement à l'orbite antérieure et que l'on peut appeler l'ancienne comète, envoyait vers la nouvelle, de sorte que pendant quelque temps elles furent reliées entre elles par une sorte de pont. L'éclat des deux corps fut, au reste, variable pendant la durée de l'apparition." Liais: loc. cit. p. 276.

chevelure ou de sa queue il puisse se manifester des changements d'intensité presque subits" (*o*). Chladni observa dans la queue de la comète de 1811 des allongements et des raccourcissements intermittents, accusant des vitesses d'un million de lieues par seconde (*p*). L'absence d'ondulations analogues dans les autres nébulosités célestes, telles que la voie lactée, les nuées magellaniques et les nébuleuses, et surtout aussi la circonscription du phénomène dans une direction et une région déterminées des comètes observées, prouvent clairement du reste que le phénomène est bien étranger à notre atmosphère et ne peut être attribuée, comme l'a pensé Olbers (*q*) à des changements rapides dans la transparence de l'air.

212. Je ne m'étendrai pas ici sur le développement soudain de queues nouvelles, quelquefois immenses (*r*), ni sur la formation alors de queues multiples, ni sur l'apparition de queues tout à fait séparées de la tête (*s*). Car tous ces phénomènes sont si évidemment en contradiction avec l'hypothèse de queues véritables, et ils répondent si complètement à l'hypothèse de lueurs passagères dans la matière cométaire, temporairement détournée du soleil, et lumineuse parce que les molécules tout récemment séparées par la chaleur s'y réunissent dès que le refroidissement le permet; tous ces phénomènes, dis-je, trouvent dans ma théorie une explication si plausible, qu'il semble superflu pour le moment de les élucider ici davantage.

(*o*) Arago : Astr. popul. t. II p. 440.

(*p*) Littrow : Die Wunder des Himmels, Ned. Vert. I p. 332. — Ces ondulations lumineuses traversant la comète de la tête jusqu'à l'extrémité de la queue en quelques secondes, ces allongements et ces raccourcissements rapides de plusieurs degrés ont été observés aussi par Robert Hooke et Schröter (Lettre de Olbers à A. v. Humboldt, Cosmos 1 D. 3 Af. Aanm. 69 p. 403.)

(*q*) A. v. Humboldt : Cosmos, Ned. Vert. 1e Deel, 1ste Af. p. 147 — Clerke : Gesch. d. Astr. p. 138 — Liais : loc. cit. p. 268—272.

(*r*) J. Herschel : Outlines 9 ed. p. 399. Dans la grande comète de 1843 Clerihew vit le 11 Mars une queue immense se développer en un jour et soustendre alors un arc de 50°. — Je dois citer ici aussi une queue, qui disparue le 1^r Juillet 1881 et absente encore le 13, réapparut le 22 du même mois Boss : Am. Journ. of Sc. 3d. Ser. 22 p. 305. Note on the Tail of Comet b 1881. Dans la comète, qu'observa Newton en 1680 une queue de 60 millions de lieues se développa en deux jours.

(*s*) Williams : Astr. Nachr. N : 1349 — Webb : Int. Obs. I p. 65. — Liais en reproduisant la figure donnée par Williams ajoute (l'Espace céleste p. 306) « Ces rayons divergents, qui ont duré peu de temps et qu'on ne distinguait pas tout à fait jusqu'au noyau, ne seraient-ils pas des régions du pourtour, qui devenaient visibles sous l'influence de lueurs électriques ? » N'est-il pas évident que Liais en faisant cette supposition entrevoyait déjà un côté important de ma théorie. Pour lui aussi la queue n'était alors qu'un secteur lumineux dans un corps obscur à « pourtour » plus grand !

213. Parmi les phénomènes, que ma théorie paraît expliquer beaucoup plus simplement que la théorie généralement acceptée aujourd'hui, il me reste à citer encore le phénomène, quatre fois observé en ce siècle, d'une queue de plusieurs millions de lieues de longueur faisant en deux heures le demi tour du monde. Ce sont les grandes comètes de 1843, de 1880, de 1882 et de 1887, qui étant au périhélie tellement rapprochées du soleil qu'elles y firent en quelques heures le demi tour de leur orbite, ont infligé à leurs queues dans le même temps ce virement complet, effrayant. Si la queue d'une comète était un appendice réel, si même, au lieu d'être formée d'un gaz infiniment léger, elle était solide comme l'acier et comparable par conséquent à un sabre turc immense brandit par le soleil en deux heures à travers l'univers, il n'y a pas de ténacité qui l'empêcherait d'être arrachée du noyau et rejetée au loin par l'accélération centrifuge. Or, si toute queue doit être rejetée alors tout de suite, il est impossible pour la même raison qu'il puisse en pousser une nouvelle tant que doit durer pour la comète sa course échevelée autour du soleil (*t*).

214. Si par conséquent la grande comète de Septembre 1882, après avoir fait en deux heures le demi tour du soleil, montra cependant quelques heures plus tard à M. M. Gill et Finlay (*u*) que, bien loin d'avoir perdu sa queue, elle en possédait une au contraire, qui était tellement immense et tellement bien fournie qu'ils pouvaient la voir en plein jour dans le voisinage éblouissant du soleil jusqu'à une distance d'un demi degré du noyau, cette queue immense, que par un effet de perspective ils ne voyaient du reste que fortement raccourcie (*v*) aurait donc dû être fabriquée par le noyau en quelques heures seulement. Or voilà une supposition, qui est bien difficile à admettre. Une queue raccourcie, mais visible néanmoins en plein jour jusqu'à une distance d'un diamètre solaire du noyau, et par conséquent infiniment plus longue en réalité, ne peut être, si elle est un appendice réel, l'oeuvre de quelques heures seulement. Une

(*t*) Cette objection a déjà été faite maintes fois, notamment aussi par Sir John Herschel (215 x.) M. Faye l'a classée parmi les „objections vulgaires” (Ann. 1883 p. 752).

(*u*) Gill: *Observ.* Vol. V p. 354. — Clerke: *Gesch. d. Astr.* p. 432. — Kreutz: *Publ. d. Sternwarte in Kiel* 1888 — *Fortschritte der Astr.* 1888 p. 77. — Bien loin d'avoir fait du mal à la queue, le passage au périhélie paraît lui avoir fait du bien. Car si quelques heures après ce passage la queue mesura d'après M. Gill plus de 30' en plein jour, elle n'avait eu le jour précédent d'après M. Tebbutt que 20' de longueur. (Kreutz: *Fortschr. der Astr.* 1888 p. 81.)

(*v*) Young: *Elem. of Astr.* p. 278.

fabrication aussi hâtée demanderait des vitesses répulsives invraisemblables et dépassant énormément celles déjà exorbitantes, que Bessel et Olbers ont admises pour expliquer la formation de queues ordinaires. (206, s). N'oublions pas non plus que d'après M. Bredichin (*w*) la queue, dont il s'agit ici, n'était pas même du premier type, comme celles de la comète de Halley et des grandes comètes de 1744, de 1811, de 1843 et de 1861, mais seulement du deuxième, où la répulsion solaire, d'après lui, n'est pas 14 fois plus forte que la gravitation, comme dans le premier type, mais 2 fois seulement.

215. Quoiqu'il en soit, il est évident en tout cas que dans ma théorie le renversement complet de la queue d'une comète en deux heures n'offre aucune difficulté. *Car la queue pouvant être considérée d'après ma théorie (200) comme l'ombre négative du noyau (x) il est clair que la queue doit toujours suivre le noyau comme son ombre et que, quel'es que soient au reste les déformations et les pertes matérielles que doit subir la comète durant sa marche périhélique désordonnée (216, 217, 225) le noyau n'y perdra pas sa queue, parce qu'il lui reste toujours son ombre.*

216. Il est clair d'ailleurs que lorsque le noyau d'une grande comète n'a que quelques heures pour faire le demi tour du soleil son enveloppe gazeuse immense doit passer au périhélie de bien mauvais quarts d'heure. Et il n'est pas étonnant du tout que, le demi tour étant fait, on retrouve la comète jonchant son orbite de nombreux lambeaux arrachés. Nous savons que la grande comète de 1822 nous a montré cet intéressant spectacle (*y*).

(*w*) Bredichin: Annales Moscou t. IX pt. II p. 52. — Clerke: Gesch. d. Astr. p. 439.

(*x*) L'idée de considérer la queue d'une comète comme une ombre négative a déjà été énoncée par John Herschel, qui, refusant d'admettre qu'une queue véritable pût virer d'un angle de 180° en deux heures, arriva déjà à la conclusion que voici: «Si l'on pouvait se représenter quelque chose comme une ombre négative, une action quelconque momentanée sur l'éther lumineux derrière le noyau, cela répondrait plus ou moins à l'idée qu'irrésistiblement le virement de la queue d'une comète doit réveiller en nous». J. Herschel: Outlines 5 Ed. p. 379, 383 etc. — Zöllner: Ueber die Natur der Com. p. 207. — Voir aussi mon Essai d'une théorie du Soleil et des Etoiles variables (1888) p. 43.

(*y*) La division du noyau fût remarquée la première fois au Cap le 30 Sept. Le 5 Oct. M. Krüger découvrit deux noyaux. Quelques jours plus tard M. Holden en vit trois et Tempel quatre. Cinq noyaux furent observés par M. Common le 27 Janvier; ces cinq noyaux la comète les conserva tant qu'elle resta visible. Mais il n'y avait pas seulement le noyau, qui se divisait. Le 9 Oct. Schmidt découvrit qu'à 4° au S. O. de la comète il y avait un objet lumineux, qui suivait la même route. MM. Oppenheim et Hind démontrèrent par le calcul que cet objet était très probablement un lambeau détaché de la comète. Six ou huit de ces lambeaux furent observés 5 jours plus tard par M. Barnard. Ils se trouvaient dans la même direction du S. O. ;

217. Mais ce n'est pas seulement dans le voisinage immédiat du soleil que les comètes se morcellent, il y en a aussi qui, quoique demeurant toujours à une distance respectable du soleil, comme la comète de Biela par exemple, se sont divisées tout de même (*z*). On a attribué ces divisions à des éruptions à l'intérieur du noyau (*a*), mais je crois qu'il y a dans ma théorie le germe d'une explication meilleure. Car si les comètes en s'approchant du soleil changent en ces sphères immenses, que ma théorie postule, et dont le rayon se mesure à la longueur de la queue, il est impossible que des masses aussi volumineuses et aussi peu cohérentes (199) se meuvent comme un tout cohérent obéissant en entier aux lois de Kepler. Des déchirements et des morcellements sont inévitables. Et il n'est donc nullement surprenant, quoique le mécanisme exact nous échappe, qu'il y ait tant de comètes, qui se sont dédoublées (*b*) et ont formé ainsi peut-être des systèmes (*c*), d'autres qui, ainsi que Kepler et Newton

mais M. Brooks en découvrit un le 21 Oct., qui accompagnait la comète du côté opposé. Outre ces noyaux multiples et ces lambeaux arrachés la comète mutilée montra aussi un fourreau lumineux bizarre, dont le diamètre était un peu plus grand que le diamètre du soleil. Holden: Nat. 27 p. 246 — Tempel: Astr. Nachr. N°. 2468 — Common: Athenaeum Feb. 3, 1853 — Hind: Astr. Nachr. N°. 2462, 2466 — Barnard: Ibid. N 2489 — Cruls: Compt. Rend. 97. p. 797. — C. F. W. Peters: Himmel u. Erde II p 334 — Clerke: Gesch. d. Astr. p. 437 — Young: Elem. of Astr. fig. 100: The "Sheath" and the Attendants of the Comet of 1852 — Fortschritte der Astr. 1858 p. 77—91.

(*z*) Herrick and Bradley: Am. Journ. of Sc. Vol. I (2d Ser.) p. 293. — Maury: Monthly Not. VII p. 73.

(*a*) Bredichin: Bull. de la Soc. imp. des Nat. de Moscou 1859 N°. 2 "Sur l'origine des comètes périodiques."

(*b*) "Démocrite dit avoir vu une comète se partager en un grand nombre de petites étoiles. La comète de 373 avant J. C. se serait séparée, d'après Ephore en deux autres. Les annales de la Chine parlent de trois comètes accouplées, qui parurent en l'an 896 et parcoururent leurs orbites de conserve. La comète de 1618, d'après Kepler, Cysatus, Wendelin et Scheiner et celles de 1652, de 1661 et de 1664, d'après Hévélius, auraient eu leurs noyaux partagés en plusieurs fragments. En 1618 Kepler, Blancanus et Figueroes ont vu deux comètes simultanément dans la même partie du ciel, avec des mouvements propres de même sens". Liais: l'Espace céleste p. 279 — Outre la comète de Biela il y a encore d'autres comètes, qu'on a vues dédoublées en ce siècle, comme par exemple la comète de Liais en 1860 (Month. Not. Vol. XX p. 336) et la comète de Brooks en 1859 (Himmel und Erde II p. 104). Souvent aussi on a vu le noyau se diviser en fragments. Cela a eu lieu par exemple dans les comètes de Sept. 1882, de Sawerthal, (Himmel und Erde I p. 53), de 1881 b (Holden: Am. Journ. of Sc. 3d. Ser. XXII p. 263) etc. La comète de Thome était aussi accompagnée de deux nébulosités, que M. Swift a observées (Fortschr. d. Astr. 1888 p. 74).

(*c*) Les comètes forment un système lorsque leurs orbites sont peu différentes. Tel est par exemple le cas des comètes 1843 I, 1850 I et 1882 II (Koerber: Himmel und

l'ont prédit (*d*), ont complètement disparu, ou se sont montrées diminuées à chaque retour (*e*), d'autres enfin, qui ont éprouvé ce morcellement complet, qui d'après la belle découverte de M. Schiaparelli (*f*) jonche les orbites cométaires de ces corpuscules, qui dans notre atmosphère forment les étoiles filantes.

218. Mais si le soleil au moyen de son attraction newtonienne fait perdre aux comètes des parties de leurs masses, sa chaleur leur enlèvera au périhélie peut-être d'autres parties encore. Ce seront ces parties, qu'une dilatation alors démesurée aura repoussées hors de la sphère d'attraction du centre cométaire. Dans la comète de Halley par exemple, qui en 1835 perdit au périhélie et la tête et la queue, la dilatation a dû être énorme, et il est peu probable que, lorsque Maclear vit plus de deux mois plus tard la tête et la queue, se récondenser avec rapidité (199) tout y est rentré alors qui en avait été chassé deux mois auparavant.

219. Il ne me reste plus qu'un phénomène à expliquer dans ce paragraphe, c'est celui même, qui m'a donné lieu de parler déjà ici des comètes, c'est la petitesse de la résistance qu'ont rencontrée par exemple les grandes comètes de 1843, de 1880, de 1882 et de 1887 lorsqu'avec leurs noyaux elles ont traversé l'atmosphère coronale du soleil.

220. Remarquons d'abord que, si cette résistance a été petite, il n'est nullement prouvé qu'elle ait été complètement insensible. Il y a au contraire des astronomes, qui admettent, comme Klinkerfues par exemple (*g*), que la comète de 1880 aurait été identique avec celles de 1618 et de 1843, la résistance au périhélie y ayant diminué la vitesse de cette dernière de 49 mètres par seconde (*h*).

Erde II p. 106.), des comètes de 1807 et de Tebbutt en 1881 (Clerke: *Gesch. d. Astr.* p. 425) etc.

(*d*) Kepler: *De cometis* Op. t. VII p. 110. „Sicut bombyces filo fundendo, sic „cometas cauda expiranda consumi et denique mori. — Newton: *Difundi tandem „et spargi per coelos universos*”. D'Arrest: *Astr. Nachr.* N°. 1624.

(*e*) Comme la comète de Halley par exemple (C. F. W. Peters: *Himm. und Erde* II p. 335.)

(*f*) Schiaparelli (1866): *les Mondes* t. XIII — Kirkwood: *Danville Quarterly Review* Dec. 1861, *Nature* VI p. 148 — H. A. Newton: *Am. Journ. of. Sc.* 2d. Ser. 37 p. 377 — Leverrier: *Compt. Rend.* 64 p. 96. — C. F. W. Peters: *Astr. Nachr.* N°. 1626 — Weiss: *Ibid.* N°. 1632 — A. S. Herschel: *Monthl. Not.* 38 p. 369.

(*g*) Klinkerfues: *Ueber die Kometenerscheinungen von 371 v. Chr., 1618, 1843 I und 1880 I.* — Gould: *Astr. Nachr.* N°. 2307 — Copeland: *Ibid.* N°. 2304 — Hind: *Obs.* III p. 390 — Faye: *Ann.* 1883 p. 229.

(*h*) v. Rebeur-Paschwitz: *Ueber die Bewegung der Kometen im widerstehenden*

Quant à la comète de Septembre 1882, on paraît bien d'accord qu'elle n'aurait éprouvé aucune résistance dans l'atmosphère solaire (i); mais M. Kreutz, qui a soumis au calcul les observations nombreuses, qu'on a faites de cette comète, ne se prononce qu'avec une certaine réserve (j). Le déchirement de cette comète au périhélie (216) n'a pas peu contribué d'ailleurs à embarrasser le calcul. Car si ce déchirement a dû déplacer le centre de gravité, M. Kreutz n'a pas réussi à le retrouver. Il lui a été impossible de déchiffrer si après la division du noyau le centre de gravité coïncidait avec un des noyaux 2, 3 ou 4 (k).

221. Quoi qu'il en soit, c'est un fait incontestable que la résistance, qu'a opposée l'atmosphère solaire au passage des comètes a toujours été excessivement petite. Et il me reste donc à expliquer maintenant que ce fait n'est nullement incompatible avec mon hypothèse d'une atmosphère solaire immense, reposant de tout son poids sur le globe solaire et présentant par conséquent une grande densité.

222. Si les comètes étaient véritablement des astres à queues, une espèce de fusées volantes de feu d'artifice, on ne saurait comprendre la petitesse excessive de la résistance indiquée qu'en admettant pour les régions coronales une densité prodigieusement petite, tout à fait en contradiction avec les autres propriétés de l'atmosphère du soleil. (81, 105, 179—194) (l). Mais les comètes ne sont pas des astres à queues phantastiques. Ce sont des astres comme tous les autres astres du monde, des astres n'acquérant de propriétés exceptionnelles, que tant qu'ils se trouvent dans le voisinage du

Mittel (1883) p. 31. — On a même supposé aussi que la comète de Thome en 1887 aurait été encore une fois cette même comète de 1668, de 1843 et de 1880 (Clerke: *Gesch. d. Astr.* p. 436.)

(i) *Fortschritte der Astr.* 1888 p. 87 — Clerke: *Gesch. der Astr.* p. 434.

(j) Kreutz: *Publ. der Sternw. in Kiel* VI, 1891, *Untersuchungen über das System der Cometen* 1843 I, 1880 I und 1882 II: II Theil. *Der grosse Sept. Comet* 1882 II p. 61. „Von einem Widerstand in der Sonnenatmosphäre, so plausibel auch das Vorhandensein eines solchen wäre, *glaube ich* (C'est moi, qui souligne) ganz absehen zu müssen. Derselbe würde sich durch durchweg negative Werthe der Constanten U kennzeichnen, eine Annahme, die schon deshalb *kaum zulässig sein dürfte*, weil sie für die Bahn des Cometen vor der Theilung eine über die in § 17 festgesetzte obere Grenze hinaus gelegene Umlaufzeit zur Folge haben würde“.

(k) Kreutz: *loc. cit.* p. 42. „Aus den vorstehenden Untersuchungen wird man den Schluss ziehen dürfen, dass die Beobachtungen keine genaue Definition des Schwerpunkts innerhalb der durch die Punkte 2 und 4 begrenzten Strecke der Kernlinie gestatten, dass aber eine Verlegung desselben über diese Punkte hinaus einen Widerspruch mit den Beobachtungen hervorruft“.

(l) Young: *le Soleil* p. 193, 241.

soleil. Car là c'est la chaleur solaire, qui en évaporant, en dissociant et en dilatant leur masse, leur donne un volume énorme, et là aussi c'est le refroidissement du côté détourné du soleil, qui en déterminant de nouveau la condensation, l'association et la contraction de la matière tout récemment disgrégée, produit à l'intérieur de la masse un secteur lumineux présentant l'apparence d'une queue.

223. Si par conséquent cette queue, au lieu d'être un appendice réel, n'est qu'un secteur lumineux à l'intérieur de la comète, la comète elle-même doit être infiniment plus volumineuse qu'on ne l'a cru jusqu'à présent. Déjà maintenant tout le monde doit admettre que le volume de ces astres peut devenir plus de mille fois plus grand que celui du soleil (*m*). En réalité leur volume sera souvent beaucoup plus grand encore, et si grand par exemple, qu'en comparaison de lui le soleil sera beaucoup plus petit que ne l'est sur la figure de la page 99 le petit cercle blanc, qui y représente le soleil, en comparaison du grand cercle qui y représente la comète au périhélie.

224. Or si le soleil est si petit en comparaison des comètes, il ne pourra faire obstacle à leur mouvement, et il sera tout aussi impuissant à arrêter sérieusement leur marche que ne l'est un poteau planté au milieu d'une rivière à arrêter le courant. Supposons par exemple que le centre de gravité d'une comète traverse la couronne, alors la comète elle-même enveloppera le soleil de toutes parts. Mais comme le soleil enveloppé de la sorte ne vient alors en contact qu'avec une fraction infiniment petite de la masse cométaire totale (199, 218), la presque-totalité de la masse cométaire continuera sa route, comme si la masse immense du soleil existait seule et son corps résistant n'existait pas.

225. Il est clair du reste que lorsque le virement au périhélie s'accomplit dans la condition décrite dans l'alinéa précédent, les perturbations, dont nous avons parlé plus haut (216—218) seront plus compliquées encore, et il est facile à comprendre qu'alors surtout la comète, au retour du soleil, montrera son orbite jonchée de ses lambeaux. Les lambeaux énormes, mesurant jusqu'à 2°, qui en Octobre 1882 apparurent successivement jusqu'à huit degrés de distance et de côtés différents du noyau de la comète de Septembre (216 *ij*) n'avaient du reste nullement l'air d'avoir été arrachés du noyau; ils firent plutôt l'impression d'avoir été formés sur place (*n*). Or, si

(*m*) Oudemans: De Sterrenhemel I p. 338 — Félix Hément: *Les Étoiles filantes et les Bolides* p. 60. — La fameuse comète de 1811, dont le noyau n'avait guère que quelques centaines de lieues de diamètre, avait une tête plus grande que le Soleil lui-même — Faye: *Ann.* 1883 p. 725.

(*n*) *Fortschritte der Astr.* 1888 p. 84.

ma théorie est vraie telle a dû être en effet l'histoire de leur formation. Ces nébulosités furent produites par des condensations locales irrégulières dans l'immense enveloppe cométaire, et ces condensations eurent lieu à de grandes distances du centre, parce qu'au périhélie la distribution régulière de la matière avait été gâtée.

226. Peut-être le soleil, en chassant devant soi la matière qu'il traverse, laissera-t-il dans la comète une trace cylindrique de son passage. Si tel est le cas, nous aurions alors l'explication de ce fourreau lumineux, qui enveloppant et devançant de 4^0 la tête de la grande comète de Septembre 1882 après son passage au périhélie, ressemblait à un tube un peu plus gros que le soleil (et par où le soleil aurait pu passer), fourreau qu'on paraît avoir remarqué aussi autour de la comète de Newton en 1680 (o).

227. Quoi qu'il en soit, et quelles que soient d'ailleurs nos idées quant aux phénomènes cométaires, l'observation prouve en tout cas que la masse infiniment raréfiée des comètes a si peu de cohésion, qu'elle peut perdre des portions considérables de sa masse totale (sa queue par exemple, d'après la théorie actuelle, et de volumineux lambeaux) sans que la masse principale restante éprouve un changement sensible dans sa vitesse (220).

228. Or, si telle est la cohésion cométaire, il importe peu que lors du passage de notre soleil si petit à travers la comète si grande (223) l'atmosphère du soleil ait une densité grande ou petite. Car si le soleil entier ne peut arrêter sensiblement la comète, ce n'est pas son atmosphère coronale, eût-elle la densité du platine, qui l'arrêtera. Si par conséquent ma théorie est vraie, nous n'avons pas besoin d'admettre une densité infiniment petite de l'atmosphère solaire pour expliquer la résistance infiniment petite, que cette atmosphère oppose au passage des comètes.

(o) Young: *Elem. of Astr.* fig. 100. The Sheath and the Attendants of the Comet of 1882. — Klein: *Astr. Abende. Der Komet vom Sept. 1882 und seine Zertrümmerung in der Sonnennähe* p. 296. — Clerke: *Gesch. d. Astr.* p. 439: „Während des grösseren Theiles des Oktober und Nov. schien ein leuchtende Rohre oder Scheide von ungeheuren Dimensionen den Kopf zu umgeben und in einer Richtung fortgeschleudert zu werden, die derjenigen des gewöhnlichen Auswürfe verdünnter Materie nahezu entgegengesetzt war. Ihr Durchmesser war nach Schmidt's Berechnung am 15 Oct. etwa 900000 Meilen gross, und sie wurde von Cruls als ein abgestumpfter nebliger Kegel beschrieben, der sich 3^0 oder 4^0 nach der Sonne hin erstreckte (Compt. Rend. 97 p. 797). Es kann kein Zweifel sein, dass diese abnorme Art von Ausströmung eine Folge der furchtbaren physischen Störung, welche er im Perihel verlitten hatte, war, und es verdient daran erinnert zu werden, das etwas Ähnliches an den Kometen von 1680 (Newton's) der ebenfals wegen seiner grossen Annäherung an die Sonne merkwürdig war, beobachtet worden war“.

CHAPITRE IV.

EXPLICATION DES TACHES ET DES FACULES.

§ 1.

Explication de la formation des taches et des facules.

229. Après avoir étudié les *éruptions de chaleur périphériques*, qui allument les protubérances et les rayons de la couronne, nous examinerons maintenant les *éruptions de chaleur plus profondes*, qui causent les taches et les facules. Ces éruptions ayant lieu dans la photosphère, je rappellerai ici brièvement quelle idée nous devons nous faire de ce globe éblouissant.

230. La photosphère est une nappe sphérique de nuages lumineux (1), semblables aux nuages de notre propre atmosphère, avec cette exception que les gouttelettes d'eau, dont se composent les nuages terrestres, sont remplacées sur le soleil par des gouttes (256) de métal ou de métalloïde réfractaire (a). Cette nappe sphérique de nuages ne tourne pas sur l'axe tout d'une pièce avec la vitesse angulaire du reste du soleil. Car les nuages équatoriaux tournent plus vite, et les nuages polaires plus lentement, et ce n'est qu'à une latitude moyenne (de 11° environ), qu'il existe des deux côtés de l'équateur une zone, où la vitesse angulaire des nuages photosphériques est précisément égale à celle du soleil gazeux lui-même (100).

231. Or que doit-il arriver, si là, où planent ces nuages photosphériques, un refroidissement local détermine la combinaison chimique de principes auparavant dissociés? Alors cette combinaison chimique y produira de la chaleur. Et cette chaleur en évaporant

(a) Ce métalloïde, d'après M. Hastings, serait un membre de la famille du carbone (Hastings: Proc. of the Americ. Ac. of Sciences Nov. 1880 — Am. Journ. of Sc. Jan. 1881 — Young: le Soleil p. 227.) — La poussière photosphérique pourrait être aussi en plus ou moins grande partie solide (Young: Elements of Astronomy 1890 p. 155).

la matière nuageuse condensée causera une tache, tache qui sera obscure, non seulement parce que la matière nuageuse, qui était là la source unique de la lumière blanche, y aura disparu, mais aussi parce que cette matière, sans changer d'ailleurs en température, y sera transformée en une masse considérable de gaz absorbant, qui dans la trouée photosphérique produite empêchera les rayons des couches plus profondes et plus chaudes à venir jusqu'à nous. Cette absorption lumineuse dans la cavité des taches ne produira du reste qu'une obscurité relative. Car l'éclat blanc des couches plus profondes, qu'à travers ces cavités nous voyons, est si intense, qu'après l'absorption décrite, il est encore, même dans les parties les plus sombres des taches, plus éblouissant que la lumière de Drummond (*b*).

232. D'après ma théorie les taches sont donc des trous dans la nappe nuageuse photosphérique, trous creusés sur place par la combinaison chimique de principes dissociés, dont la chaleur de formation, en évaporant la matière condensée, qui est la source unique de la lumière blanche photosphérique, cause une tache relativement obscure sans augmentation ni diminution de la température. Si telles sont les taches solaires, tous les phénomènes que ces taches et que la photosphère entière présentent, paraissent s'expliquer aisément. C'est ce que je tâcherai de faire voir dans ce chapitre.

233. Rappelons nous d'abord que j'ai prouvé plus haut (44—48) que *les taches ont une température parfaitement égale à celle de la photosphère qui les entoure*. Car, si cette température n'était pas égale, des courants ascendants et descendants devraient se produire bouleversant sans relâche l'atmosphère qu'ils traverseraient. Ce bouleversement n'existant pas, ces courants n'existent pas non plus, et des différences de température à un même niveau n'existent pas davantage.

234. Si les taches émettent moins de chaleur que la matière photosphérique qui les entoure, si c'est pour cette raison qu'elles allument dans leurs normales les protubérances éruptives (127) et les rayons coronaux (170); si, étudiées au thermomultiplicateur ou au bolomètre, elles causent une déviation plus petite du galvanomètre

(*b*) Young: loc. cit. p. 125. Clerke: Gesch. d. Astr. p. 282. — Citons encore à cet égard une curieuse expérience de Chacornac dont Leverrier, qui en avait été témoin a donné la description que voici: «Une pénombre très intense se montrait sur le centre du disque du soleil et elle paraissait fort obscure comparée à la lumière des parties environnantes de l'astre. Or lorsqu'on cachait tout le soleil avec un écran à l'exception de la tache, que nous venons de mentionner et d'une partie du disque située dans les environs du bord on était étonné d'avoir à constater que la tache était plus lumineuse que le bord de l'astre». Leverrier: Compt. Rend. 1869 8 Févr. p. 319.

que les régions photosphériques contigües (c), *tout cela ne prouve aucunément que leur température serait réellement plus basse*; cela prouve tout simplement que, faute de matière condensée, leur *pouvoir émissif est moindre* (46). Si leur spectre montre un renforcement dans l'obscurité de plusieurs de ses raies d'absorption, cela ne prouve pas que le gaz absorbant y serait moins chaud; cela prouve tout simplement que, la température restant égale, le gaz absorbant y a fortement augmenté en masse (47). Or voilà justement ce qui doit arriver si des taches, telles que je viens de les expliquer, sont creusées dans la photosphère par des éruptions de chaleur.

235. *Les taches sont dans la photosphère ce que des flaques d'eau sont dans une couche de glace en dégel.* Cette eau, quoique formée par la chaleur ne diffère pas en température avec la glace adjacente. Dans les taches et les autres parties photosphériques il n'y a donc que des différences de *calorique latent*, qui par conséquent laissent les masses en repos relatif.

236. En concordance parfaite avec l'explication que je viens de donner est la „dissolution de la matière photosphérique” que Secchi a souvent observée tant que les taches étaient en train de se former. Cette dissolution avait lieu lentement et demandait 24 heures par exemple (d). Secchi décrit cette dissolution comme une gazéification, et est conduit à „comparer la photosphère à un brouillard qui se dissout dans les taches” (e). Ces phénomènes de dissolution ont été décrits aussi par Chacornac, qui, en parlant des petites lignes lumineuses de la pénombre à son bord intérieur, dit les avoir aperçues „plusieurs jours comme des cirrus déliés paraissant fondre et se diviser en fragments” (f). Liais fait remarquer aussi que „l'état d'agitation continuelle que montre la surface du soleil a été comparé par quelques observateurs à celui que présente un liquide dans lequel se fait une précipitation chimique” (g). Il rend complètement mon idée en s'exprimant de la manière suivante: „On observe quelquefois dans les taches des variations tellement rapides qu'il est impossible, vu la grande échelle sur laquelle s'o-

(c) Secchi: le Soleil I p. 208. — Young: Elem. of Astronomy p. 126. „That the nucleus of a spot is cooler as well as darker than the rest of the sun's surface has been proved by several observers by direct experiments with the thermopile” (!)

(d) Secchi: le Soleil I § III, Dissolution de la matière lumineuse dans les taches, p. 65.

(e) Secchi: le Soleil I p. 294.

(f) Liais: l'Espace céleste, p. 51.

(g) Liais: loc. cit. p. 51.

„pèrent ces changements, de les attribuer à un transport de matière.
 „Il devient facile, au contraire, de les concevoir par des effets de
 „dissolution ou de condensation sur place de la substance des nua-
 „ges lumineux, comme sur la terre, on voit quelquefois le ciel se
 „couvrir ou se découvrir presque instantanément par condensation
 „ou dissolution des vapeurs contenues dans l'air” (*h*). Tout aussi
 clairement que M. Young semble avoir déjà prévu un côté essentiel
 de ma théorie des protubérances et des rayons de la couronne (152,
 167, 309), Secchi, Chacornac et Liais ont aussi pressenti ma théorie
 des taches.

237. La matière photosphérique en s'évaporant pour former
 une tache, bien que ne changeant pas en température, augmente
 bien considérablement en volume. Elle causera donc une pression,
 qui, en aidant à rendre la tache conique, en vertu de la moindre
 résistance du niveau supérieur, doit refouler les nuages photosphé-
 riques ambiants et donner lieu au rehaussement de niveau et d'éclat
 qu'aux bords de la tache on observe ordinairement. Voilà pourquoi
 il est aussi peu ordinaire de trouver une tache sans facules qui l'ac-
 compagnent qu'une vallée terrestre sans collines qui l'avoisinent (*i*).

238. Ce rehaussement de niveau sera d'ailleurs plus fort du
 côté d'où la tache est mue par la rotation de l'astre que du côté
 contraire; car le mouvement du gaz dilatant étant du côté premier
 contraire au mouvement rotatoire doit y produire une compression
 plus forte. Le fait découvert par Warren de la Rue qu'en général
 les taches, que nous montre le côté oriental du disque solaire sem-
 blent plus grandes que celles, qui apparaissent du côté opposé, ne
 trouve-t-il pas dans ce rehaussement du côté oriental du bord de
 la tache une explication bien simple? Nous savons aussi que les
 épreuves photographiques obtenues à Kew par M. M. Warren de la
 Rue, Balfour Stewart et Loewy ont fait ressortir ce développement

(*h*) Liais: loc. cit. p. 49 — Secchi rend aussi complètement mon idée, à peu près
 dans les mêmes termes que Liais. „Cette théorie explique (dit Secchi), sans qu'il soit
 „nécessaire de recourir à des vitesses fabuleuses, la rapidité avec laquelle s'exécutent
 „certains changements de forme dans les taches. Le déplacement apparent d'un nuage
 „peut s'expliquer sans supposer que la matière qui le compose a réellement parcouru
 „le même espace que le contour du nuage lui-même: il suffit pour cela d'un chan-
 „gement de temp. produisant d'une part la condensation, d'autre part la dissolution
 „de la vapeur sur une surface étendue. C'est ainsi que par un temps calme nous
 „voyons le ciel se couvrir de nuages presque instantanément, ou bien s'éclaircir avec
 „la même rapidité, les courants d'air ayant une vitesse presque nulle et incompara-
 „blement plus faible que celle du mouvement apparent des nuages.” (Secchi: le
 Soleil I pag. 119.)

(*i*) Young: le Soleil p. 84 — Secchi: le Soleil I p. 109.

plus grand des facules du côté postérieur de la tache (*j*). Ces mêmes observateurs ont découvert aussi que la matière faculaire amassée à la suite des taches y forme quelquefois de véritables queues (*k*). Sur 1137 taches photographiées, 584 présentaient une queue faculaire dans la partie postérieure; 508 avaient une disposition régulière; 45 seulement avaient une espèce de queue dans la partie antérieure (245).

239. Si ma théorie des taches explique facilement la formation des facules, qui les entourent, elle rend compte aussi des facules qui semblent les préparer et qui, étudiées surtout par Secchi et Spoerer, (285, *n*) et tout récemment par M. Sidgreaves (*l*), peuvent être considérées comme *facules précurseurs*. De telles facules seront formées 1^o par le relèvement de niveau, que doit produire dans les couches photosphériques supérieures toute gazéfaction dans les couches plus profondes, 2^o par une augmentation sur place de la con-

(*j*) Balfour Stewart: Proc. of the Royal Society Vol. XIII p. 168 — Phillips: Proc. of the Royal Soc. Vol. XIV p. 47: „In a recent communication M. Balfour Stewart remarks that in the photographs of the sun taken at Kew, it appears to be „a nearly universal law that the faculae belonging to a spot appear on the left of „the spot, the motion due to the sun's motion of rotation being across the picture „from left to right. I find that my sketches support this view to the extent that „the faculae which follow a spot appear in several cases more prominent than in „others”. — Secchi: le Soleil I p. 165: . . . 3^o „la disposition des facules, qui „sont plus vives et plus étroites à la partie antérieure des taches, tandis qu'elles sont „plus nombreuses, plus larges mais plus pâles à la partie postérieure qui présente „elle-même sur son contour un renflement que M. de la Rue appelle un bourrelet”.

(*k*) De la Rue, Balf. Stewart and Loewy: Proc. of the Royal Soc. Vol. XIV p. 39.

(*l*) Secchi: le Soleil I p. 113. — Spoerer: Nature Nov. 17, 1886 p. 72 — Lockyer: Chem. of the Sun p. 407 — Liais: l'Espace céleste p. 71 — Schwabe: Cosmos v. Humboldt 2^{te} Abth. p. 402 (1851) — Samter: Himmel u. Erde I p. 44. — „Maculae „et faculae semper conspiciuntur inter se conjunctae et saepius eo loco, quo macula „evanuit, faculae, et contra, mediis in hisce lucidis locis saepius maculae oriuntur” (G. Gleuns: de Maculis solaribus 1837 p. 27) — „La formation des taches (dit Secchi) „est toujours annoncée quelques jours d'avance; on aperçoit dans la photosphère une „grande agitation, qui se manifeste souvent par des facules très brillantes donnant „naissance à un ou plusieurs pores. Bien souvent encore on voit apparaître des groupes „de petits points noirs, comme si la couche lumineuse devenait plus mince de manière „à disparaître peu à peu pour laisser à découvert un noyau obscur”. (Secchi: le Soleil I p. 60). — „During the minimum of 1889, Father Sidgreaves observed two „cases in which faculae undoubtedly appeared before any trace of a spot could be „detected; hence, so far as these observations are concerned, their evidence clearly indicates that the birth of some spots is preceded by the appearance of faculae”. Nature, January 1892; Stonyhurst Drawings of sun-spots and faculae, communicated by the Rev. W. Sidgreaves to the R. Astr. Soc. in December 1891. — Sidgreaves: Monthl. Not. Dec. 1891. — „Der Bildung eines Fleckes geht gewöhnlich die einer sogenannten Fackel voraus”. (W. Meyer: Die Kinder der Sonne 1891 p. 15.)

densation dans les couches chromosphériques inférieures, condensation qui d'après mon Principe II est nécessaire pour préparer une éruption de chaleur future. Dans les facules précurseurs de cette 2^{me} catégorie il y a donc surdissociation. Elles nous montrent les endroits, où des éruptions de chaleur se préparent et où par conséquent, si ces éruptions pénètrent suffisamment dans la photosphère, des taches vont se produire.

240. Si ces éruptions de chaleur ne pénètrent pas suffisamment dans la photosphère pour pouvoir la trouser fortement elles ne produiront que des *pores*, ou contribueront à former, ou bien ces *cratères photosphériques sans tache* qu'a observés Secchi (*m*), ou bien ces taches gris foncé plus profondes, que M. Trouvelot a trouvées, tout comme les facules, sur toute la surface du soleil et qu'il a nommées des *taches voilées* (*n*), ou bien ces *obscurcissements passagers*, que Perry a décrits comme étant entièrement analogues aux taches voilées de M. Trouvelot (*o*). Mais si elles n'effleurent pas même la surface de la photosphère, elles ne seront dans la chromosphère que des protubérances blanches de Tacchini (113—118). Il y a des facules en effet, qui „vues sur le bord du disque solaire ont l'aspect de véritables protubérances (*p*). Nous reviendrons plus tard sur les „taches voilées” lorsque nous étudierons les causes qui font disparaître les taches (269, 279, 284).

241. L'uniformité dans la vitesse angulaire des facules sur toute la surface du soleil, uniformité qui n'était pas encore connue lorsqu'en 1888 je développai ma théorie pour la première fois, et que M. Wilsing a découverte (85,*d*), est une particularité que ma théorie explique facilement. Les facules en effet ne se trouvant pas dans la photosphère (qui est le seul niveau où l'on puisse observer des vitesses anormales) mais se trouvant plus haut, participent par conséquent plus ou moins au mouvement uniforme et normal de la masse gazeuse du soleil (102). Les facules, qui entourent les taches, étant photosphériques d'origine et reliées encore à la nappe nuageuse, dont ils continuent à faire partie, auront moins de hâte à se déplacer par rapport aux taches que les facules à origine chromosphérique, dont nous venons de les distinguer (239, 245, 257).

242. Il est clair d'ailleurs que dans les zones où la photo-

(*m*) Secchi : le Soleil I p. 113.

(*n*) Trouvelot : Am. Journ. of Sc. and Art, March 1876 3d Ser. XI — Young : le Soleil p. 104 — Lockyer : Chem. of the Sun p. 409.

(*o*) Perry : Observatory VII p. 154 — Clerke : Geschichte der Astr. p. 218.

(*p*) Secchi : le Soleil II p. 180.

sphère a une vitesse toute autre que l'atmosphère qui la recouvre, il y aura, tant à l'intérieur de celle-ci qu'à l'extérieur de celle-là, des couches où le changement de vitesse aura lieu d'une manière graduelle, continue. Ces couches sont celles où apparaissent les facules et où ce sont précisément ces facules, qui s'élevant et s'affaissant tour à tour, communiquent aux couches qu'elles traversent une vitesse intermédiaire. Ce n'est qu'à leur crête par conséquent que les facules auront une vitesse uniforme.

§ 2.

Explication des mouvements divers que présentent les taches.

243. Si une tache est en train de se former au milieu d'un groupe de taches, l'augmentation de volume ainsi produite dans le centre par l'évaporation de la matière, qui y était condensée, doit disperser les taches déjà existantes. Le groupe en tournant sur l'axe solaire doit nous montrer en ces moments les taches qui vont au devant plus accélérées et les taches qui vont à l'arrière plus paresseuses que de coutume. *Or voilà justement ce que M. Spoerer a souvent observé (r).* Mais ces vitesses angulaires anormales ne peuvent durer qu'un temps bien court. Ils n'ont lieu, comme on sait, que durant la formation des taches (s).

244. Il est évident d'ailleurs que le même raisonnement peut rendre compte aussi de l'accélération que font voir le plus souvent toutes les taches, y comprises les solitaires, tant que dure leur formation ou leur agrandissement (90). Cette accélération est causée en effet par la vitesse anormale alors et trop grande du bord antérieur de la tache; la vitesse toute différente, anormale aussi mais trop petite du bord postérieur n'éveillant en nous, tant que les taches sont en train de se former, aucune idée de leur vitesse mais de leur agrandissement seulement. Il est clair aussi que le gaz, qui dans une tache agrandissante disperse la matière photosphérique, doit se porter surtout vers le côté, où la résistance est moindre. Or comme ce côté est celui du bord antérieur de la tache (238), nous com-

(r) Spoerer: Publ. d. Astrophysik. Obs. zu Potsdam, Sonnenfleckenbeobachtungen in den Jahren 1880—1884; IV, 4 p. 422 *„Uebergrosse Rotationswinkel kommen vor an der Westgrenze der Gruppen und bei neu entstandenen Flecken (Westgrenze = in der Rotationsrichtung vorangehend) . . . Im östlichen Theile einer Gruppe kommen niemals uebergrosse Rotationswinkel vor. Man findet daselbst Verkleinerung der Rotationswinkel, aber selten mit bedeutenden Betrage“.*

(s) Spoerer: loc. cit. p. 424, 425. — Spoerer: Astr. Nachr. N°. 2936 p. 122.

prenons donc parfaitement maintenant pourquoi, d'après la description de M. Young et de Secchi (*t*) „toutes les fois qu'une tache subit „des changements soudains elle s'avance ordinairement sur la surface „solaire en faisant comme un saut”. Ce saut aura lieu aussi lorsque, le contenu vaporeux de la tache se recondensant, le vide ainsi produit aspirera de nouveau la matière photosphérique. Car cette matière, affluant alors de préférence du côté, où elle se meut déjà dans le sens de l'aspiration indiquée, c'est-à-dire du côté postérieur de la tache, comblera la tache par derrière en donnant cette fois encore à son centre une accélération subite.

245. Ce saut explique aussi pourquoi les facules que les taches produisent sont disposées si souvent à leur suite à la manière d'une queue (*u*). Et en effet, j'ai déjà expliqué plus haut (238) que c'est surtout sur son bord postérieur qu'une tache en se formant accumule ses facules. Or comme ce bord postérieur, tant que dure cette accumulation, marche plus lentement que le reste de la tache (243, 244) les facules alors soulevées montreront un retard dès que la tache toute formée aura pris la vitesse normale, plus grande des nuages photosphériques. Les queues faculaires ainsi produites, qu'une différence de vitesse dans les couches atmosphériques nouvelles, qu'elles atteignent, doit détériorer (242) dureront surtout dans les latitudes où la vitesse angulaire du gaz solaire est égale à celle de la photosphère ou plus petite; c'est-à-dire dans la parallèle *l*, ou entre cette parallèle et l'équateur (230). Dans les latitudes plus grandes que *l* les queues faculaires auront peine à se maintenir à la suite des taches et tendront plutôt à les devancer.

246. Si ma théorie est vraie, il n'est pas difficile à comprendre que dans tout groupe de taches les taches marchant au devant seront en général moins gênées dans leur développement, plus considérables par conséquent et plus stables que les taches marchant à l'arrière. Car la pression plus grande à l'arrière de toute tache (238), tout en diminuant l'effet d'éruptions de chaleur éventuelles, y difformera ou détruira même des taches déjà formées; et ces taches déjà formées y

(*t*) Young: le Soleil p. 110. — Secchi: le Soleil I, p. 141.

(*u*) De la Rue, Stewart and Loewy: Proceed. of the Royal Soc. of London, Researches on Solar physics. p. 39. „It appeared that out of 1137 cases 584 have their „faculae entirely or mostly on the left side, 508 have it nearly equal on both sides, „while only 45 have it mostly to the right. It would thus appear as if the luminous „matter being thrown up into a region of greater absolute velocity of rotation fell „behind to the left; and we have thus reason to suppose that the faculous matter „which accompanies a spot is abstracted from that very portion of the suns surface „which contains the spot and which has in this manner been robbed of its luminosity”.

deviendront aussi plus ou moins invisibles, lorsque la tache, qui va au devant, aura produit, comme je l'ai expliqué plus haut (245) une queue faculaire. Si par conséquent dans un groupe de taches une série de taches très petites forme quelquefois une espèce de queue, qu'on trouve ordinairement du côté postérieur d'une tache plus grande marchant au devant (*v*) et si en général les taches du côté postérieur d'un groupe sont moins stables que celles du côté contraire (*w*) ces particularités, que Secchi et M. Spoerer ont décrites ne répondent pas mal aux prévisions de ma théorie.

247. Ma théorie ne rend pas seulement compte des mouvements exceptionnels que les taches présentent toujours lorsqu'elles subissent des changements soudains, elle explique aussi la plupart de leurs autres mouvements. Considérons en premier lieu leur *mouvement de rotation sur l'axe*.

248. *Les taches étant simplement des éclaircies dans les nuages photosphériques ont en général la même vitesse que ces nuages.* Si par conséquent ces nuages tournent sur l'axe avec des vitesses angulaires diminuant de l'équateur aux pôles le mouvement des taches présentera cette même particularité. Ma théorie étant sur ce point en accord avec les idées généralement adoptées (*x*), n'a besoin ici d'aucune élucidation nouvelle. Je rappellerai toutefois que, si dans ma théorie la différence en vitesse angulaire des différentes zones de la photosphère est admise comme fait, cette différence y trouve en même temps une explication plausible (80—107), et que, si l'on considère généralement la vitesse des taches comme complètement identique avec celle des nuages photosphériques, ces vitesses sont néanmoins un peu différentes; les nuages photosphériques marchant en général moins vite (89—92; 102; 243—244).

249. Considérons maintenant le *mouvement des taches en latitude*. Aux latitudes plus grandes que 25° les taches ont en général une tendance marquée à se mouvoir vers les pôles. Aux latitudes plus petites cette tendance est moins grande et elle cesse complètement vers la parallèle de 10° , au delà de laquelle les taches

(*v*) Secchi: le Soleil I p. 91. «Les taches possèdent souvent une espèce de queue composée de taches plus petites; ces appendices se trouvent ordinairement dans la partie postérieure de la tache, c'est-à-dire dans la partie opposée à celle vers laquelle se dirigent les différents points du soleil dans son mouvement de rotation» (fig. 45 p. 88).

(*w*) Spoerer: Sonnenfleckenbeobachtungen, Publ. d. Astrophys. Obs. zu Potsdam IV 4. p. 422: «der östliche Theil der Gruppe verschwindet leichter».

(*x*) Young: le Soleil p. 104—108. — Serchi: le Soleil I. Chapitre V; Mouvements généraux des taches, Rotation du Soleil (p. 121—174).

acquièrent au contraire une légère tendance à se mouvoir vers l'équateur (*ij*). Ces mouvements en latitude sont cependant *excessivement capricieux*, car il n'y a pas de zone, où on ne les ait vus dans les deux directions opposées (*z*). Quelquefois même il arrive que, durant de longues années entre l'équateur et la parallèle de 10° par exemple, les taches ne montrent aucune tendance à se mouvoir plutôt d'un côté que de l'autre (*a*) tandis qu'à la latitude de 30° par exemple on voit quelquefois plusieurs taches se succéder, qui se meuvent toutes vers l'équateur. Une telle direction est là si peu exceptionnelle d'ailleurs qu'on ne la voit nullement éliminée sur le tableau suivant, où à côté des résultats obtenus par M. Spoerer (*b*), j'ai représenté la moyenne des observations nombreuses de Carrington (*c*) :

(*ij*) Carrington: Observations of the spots of the sun, from Nov. 9 1853 to March 24 1861, made at Redhill — Secchi: le Soleil I p. 121 etc. — Young: le Soleil p. 110 — Spoerer: Sonnenfleckenbeobachtungen, Publ. Astr. Obs. Potsdam IV. 4. p. 418: „Die Vereinigung beider Halbkugeln bestätigt für 31 Jahre die bekannte Breitenänderung, nämlich in den Aequatorialzonen bis 10° Breite, Annäherung an den Aequator, dann von 10° bis 15° geringe Annäherung zum Pole, über 15° zunehmende Bewegung nach dem Pole. Dieses Resultat bezeichnet indessen nur den Ueberschuss, welchen eine der beiden Richtungen über die andere erlangt. Wie die obige Zusammenstellung zeigt, kommen beide Richtungen in alle Zonen vor; aber bei wachsender Breite tritt die Richtung nach dem Aequator mehr und mehr zurück. Berücksichtigt man besonders die Anzahl der Tage, an welchen eine der beiden Richtungen vorherrschte, so ergibt sich aus der Vereinigung der 31 Jahre, dass die Procentzahl der Tage für die Richtung nach dem Pole bei zunehmender Breite mit ausgezeichneter Regelmässigkeit anwächst. Ueber 25° Breite wird dabei die Procentzahl 80 überschritten und die Richtung nach dem Pole fast allein herrschend“.

(*z*) Spoerer: loc. cit. p. 416—418.

(*a*) Spoerer: loc. cit. p. 419: „so ergibt die Zusammenstellung der 31 Jahre... dass auf der südlichen Halbkugel die beiden Richtungen (nach Aequator und Pol) sich vollständig aufheben“.

(*b*) Spoerer: loc. cit. p. 415—418.

(*c*) Secchi: le Soleil I p. 136: Tableau B: Du mouvement propre des taches déduit des observations de Carrington. Les signes + ou — indiquent un accroissement ou une diminution de la latitude, c'est-à-dire un mouvement vers les pôles ou vers l'équateur. Les déplacements diurnes moyens sont exprimés en minutes de degré solaire.

250. MOUVEMENT DES TACHES EN LATITUDE.

| Zone des taches. | Déplacement diurne moyen en latitude de 1854 à 1884, d'après M. Spoerer. | Déplacement diurne moyen en latitude de 1853 à 1861, d'après Carrington. |
|------------------|--|--|
| 50—35 | } | + 11.0 |
| 35—30 | | + 3.5 |
| 30—25 | | + 2.8 |
| 25—20 | | + 1.0 |
| 20—15 | | + 0.2 |
| 15—10 | | — 1.0 |
| 10— 5 | | — 2.4 |
| 5— 0 | | + 3.3 |
| 0— 5 | | — 1.6 |
| 5—10 | | + 1.0 |
| 10—15 | — 0.4 | |
| 15—20 | + 0.8 | |
| 20—25 | + 3.0 | |
| 25—30 | } | + 1.2 |
| 30—35 | | — 5.3 |
| 35—45 | | + 11.5 |

251. Quoiqu'il résulte clairement de ce tableau que les mouvements en latitude n'obéissent à *aucune loi certaine*, il est évident cependant qu'il doit exister une circonstance, qui, sans être décisive, fait dériver si souvent les taches vers les pôles ou vers l'équateur selon que leur latitude est plus grande ou plus petite que 10° environ. Cette circonstance serait bien difficile à découvrir si *la parallèle où le mouvement en latitude change de signe n'était pas précisément celle où d'après ma théorie (102) la différence en vitesse angulaire des nuages photosphériques et de l'atmosphère qui les recouvre change de signe aussi*. J'ai fait voir en effet dans mon premier Chapitre que c'est uniquement à la latitude de 11° environ que la vitesse angulaire des nuages photosphériques est précisément égale à celle du gaz solaire immédiatement adjacent. Aux latitudes plus grandes les nuages marchent plus lentement et aux latitudes plus petites ils marchent plus vite.

252. Or, si des deux côtés de la parallèle de 11° environ cette différence de vitesse est de signe différent et si des deux côtés de cette même parallèle de 11° environ le mouvement en latitude change de signe aussi ; cette coïncidence remarquable ne nous fait pas penser en premier lieu à un effet du hasard ; mais elle nous force plutôt à considérer *la différence de vitesse indiquée comme la cause du mouvement en latitude*. Et en effet, si cette supposition est juste, on voit tout de suite que des deux côtés de la parallèle de 11° le déplacement puisse être diamétralement opposé.

253. On ne verra pas tout aussi facilement, il est vrai, quel est le mécanisme qui produit les déplacements compliqués qu'on observe, et je ne me flatte même pas qu'après l'explication que je vais tâcher d'en donner ce mécanisme paraîtra déjà suffisamment clair. N'oublions pas cependant que si mon explication paraît incomplète et peu appropriée à rendre compte d'un phénomène constant, cela n'est pas ici nécessairement un défaut, car le phénomène à expliquer n'est pas constant non plus, faisant défaut, comme je l'ai rappelé plus haut (249), quelquefois durant de longues années.

254. Si c'est la différence de vitesse entre les nuages photosphériques et le gaz immédiatement adjacent, qui cause le mouvement en latitude, c'est donc sur le bord cratériforme de la tache que cette différence de vitesse agira ; et cette action ne produira le déplacement qu'on observe, que lorsque ce bord aura la cohésion et la forme requises. Examinons donc en premier lieu si nous pouvons attribuer au bord d'une tache une cohésion notable.

255. Ce bord étant formé de nuages, on sera peu disposé à lui attribuer une cohésion bien grande (41) ; mais comme les nuages dont ce bord se compose sont fortement entassés et peut-être soudés l'un sur l'autre sous l'influence de la pression (237), ce bord pourra avoir une consistance beaucoup plus notable que le reste de la nappe photosphérique, où les nuages, qui y flottent, forment des masses relativement petites et entièrement séparées (96) (*d*).

256. Nous avons vu d'ailleurs plus haut (105, note *s*) que, bien que la matière photosphérique puisse être comparée avec une matière nuageuse, elle ne plane pas comme nos nuages terrestres dans une atmosphère à densité relativement très petite, mais flotte dans un gaz comprimé que le poids de l'immense atmosphère qu'il supporte rend spécifiquement presque aussi lourd peut-être que la matière photosphérique elle-même. Tandis que par conséquent nos

(*d*) Young: le Soleil p. 63 — Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 194,

nuages terrestres en augmentant en masse doivent toujours finir par se résoudre en pluie ou en neige etc., et ne peuvent acquérir de la sorte une cohésion notable, rien au contraire n'empêche les nuages photosphériques à augmenter indéfiniment en masse et à être transformés en agglomérations compactes flottant peut-être dans le gaz comprimé solaire comme dans l'expérience de Plateau la sphère huileuse flotte dans l'alcool dilué. Dans ces agglomérations compactes la cohésion serait surtout bien grande si (comme d'après M. Young cela est fort bien possible (e)) la poussière photosphérique était en plus ou moins grande partie solide.

257. Quoi qu'il en soit, il ne manque pas d'observations paraissant prouver que *les amas faculaires de matière photosphérique ont souvent une cohésion remarquable*. Si les facules, d'après M. M. de la Rue, Stewart et Loewy (f) conservent souvent plusieurs jours leur forme; si le bourrelet faculaire du côté postérieur de la tache (238) est de même un phénomène durable (g); si, d'après Secchi, toute tache se déplace, lorsque dans son voisinage une deuxième tache se produit ou change de contour (h); si cette tache augmente en vitesse lorsque la deuxième la suit, mais diminue lorsque la deuxième la devance (243); tous ces phénomènes semblent démontrer que les différentes parties, dont se compose le bord faculaire d'une tache sont *assez solidement reliées* l'une à l'autre pour former un tout cohérent qu'une pression latérale *déplace en entier* sans qu'il y perde nécessairement sa forme (i).

(e) Young: Elem. of Astr. 1890 p. 155: "The photosphere is in all probability a sheet of luminous clouds, constituted mechanically like terrestrial clouds, i. e. of minute solid or liquid particles floating in gas".

(f) De la Rue, Stewart and Loewy: On solar Physics, Proc. of the Royal Soc. XIV p. 38: "It was remarked that faculae often retain the same appearance for several days, as if their matter were capable of remaining suspended for some time".

(g) Secchi: le Soleil I p. 165, 166.

(h) Secchi: le Soleil I p. 142 "Toutes les fois qu'une tache change de forme ou qu'il s'en produit une autre dans son voisinage on remarque une perturbation ou un déplacement". — Spoerer: loc. cit. p. 420: "Die Breitenänderung ist aber nur selten hinreichend einfach und wird namentlich gestört, wenn nördlich oder südlich andere Flecke entstehen oder verschwinden".

(i) M. Young admet aussi une certaine cohésion dans la «croûte photosphérique». Voici ce que remarque à cet égard l'illustre astronome (le Soleil p. 140): "Sans doute la photosphère est une écorce ou une croûte qui n'est pas tout à fait continue, mais elle est lourde à côté des vapeurs non condensées, qui l'entourent, absolument comme un nuage pluvieux dans notre atmosphère terrestre est plus lourd que l'air; cette croûte est probablement assez continue pour qu'une diminution de la pression inférieure détermine un effet à la surface extérieure... Sous tous les rapports,

258. Examinons maintenant en second lieu (254) si le bord cratériforme d'une tache ne pourrait présenter une forme rendant compte du déplacement en latitude, qu'on observe. Il est clair tout d'abord que ce bord s'élèvera dans ses différentes parties à des hauteurs différentes, et que ces hauteurs, bien que n'étant souvent qu'accidentelles, devront répondre aussi à des circonstances déterminées. C'est ce qui ne ressort pas seulement des observations de Kew, qui ont fait découvrir le bourrelet, que ce bord présente si souvent du côté postérieur (238), mais c'est ce qui ressort aussi des considérations suivantes.

259. Lorsqu'une tache en se formant refoule la matière photosphérique, les crêtes nuageuses, dont elle s'entoure, dès qu'elles s'élèvent suffisamment dans le gaz chromosphérique à vitesse différente, seront enlevées en partie de leur base photosphérique et resteront en arrière de la tache dans les latitudes moindres que l (230) et la devanceront dans les latitudes plus grandes. *Cet enlèvement des facules sera nul dans la latitude l et il sera d'autant plus considérable que la différence de vitesse indiquée sera plus grande.* Voilà pourquoi le rehaussement restant du bord d'une tache ne peut être le même dans tous les points de ce bord, et pourquoi, outre le bourrelet déjà expliqué plus haut (238), toute tache doit pouvoir en présenter un deuxième qui sera situé (caeteris paribus) du côté de l'équateur ou du côté du pôle selon que la latitude de la tache sera plus grande ou plus petite que l .

260. Considérons maintenant deux taches de latitude différente et séparées par la parallèle l . Alors nous trouverons leurs rehaussements de bord, également tournés tous deux vers cette même parallèle, inversement situés par rapport au méridien de chaque tache. Les deux taches auront donc chacune leur bord résistant à la vitesse nouvelle tout différemment situé et la direction de ces bords résistants sera telle que dans le milieu à vitesse nouvelle il pourra en résulter leur éloignement (253).

261. Quoique la différence de vitesse indiquée poussant les taches hors de leurs parallèles puisse leur communiquer de la sorte un léger *mouvement rotatoire*, qu'on a observé quelquefois (j), et quoique la différence de vitesse angulaire des différentes zones photosphériques occupées par une même tache puisse être une autre

«bien que n'étant pas autre chose qu'une couche de nuages, la photosphère forme ainsi une croûte resserrée, sous laquelle sont enfermés et comprimés les gaz inférieurs».

(j) Dawes: Mem. R. A. S. Vol. XXI p. 160 — W. R. Birt: Monthly Not. XXI p. 144 — Young: le Soleil p. 97 — Clerke: Gesch. d. Astr. p. 189, 190.

cause de rotation véritable (268) ce n'est pas à ces faibles mouvements de rotation réels, que sont dues les *spirales*, qui, d'après Carrington et Secchi (*k*), donnent à deux ou trois pour cent des taches une apparence comme si elles avaient fortement tourné. Le mouvement énergétique rotatoire, qui aurait dû donner à ces taches quasi cycloniques leurs spirales immenses, n'a jamais été observé (*l*). Ce mouvement serait d'ailleurs le plus souvent impossible, parce que dans les différentes parties d'une même tache les spirales indiquent communément un mouvement en sens opposé (*m*).

262. Si ma théorie est vraie les taches doivent pouvoir montrer des spirales *sans jamais avoir tourné*. Car le mouvement centrifuge imprimé à la matière au centre d'une tache naissante (237) ne pourra rester rectiligne mais déviara en spirales, dès que ce mouvement aura conduit cette matière dans des zones à vitesses nouvelles, où la matière inerte déjà présente refusera de plus en plus de reculer et de céder, à mesure que le mouvement centrifuge de la matière refoulée, diminuant sans cesse sera plus prêt de cesser tout à fait. Si cette explication est juste, on verra les spirales le plus fortement recourbées du côté postérieur de la tache (*n*); on verra aux côtés boréal et austral d'une même tache ces spirales courbées en sens opposé (261); on observera ces spirales surtout dans les taches, qui durant leur formation auront été peu troublées par des pressions latérales, dues à des éruptions de chaleur voisines, et sur-

(*k*) Young: le Soleil p. 98.

(*l*) Secchi: le Soleil I p. 89: „On a souvent cru voir des tourbillons dans des phénomènes qui ne sont que de faibles changements de forme, sans aucun mouvement de rotation. Quelques astronomes, M. Faye en particulier sont partis de là pour rétablir une théorie d'après laquelle les taches ne seraient autre chose que des cyclones. Cette théorie ne nous paraît pas admissible. Si le mouvement tourbillonnant existait dans toutes les taches, les rayons qui constituent la pénombre devraient toujours être recourbés: or il n'en est rien. Si cela arrive quelquefois, c'est assez rare, car, sur 300 taches et plus qu'on observe dans le cours d'une année, il y a 7 ou 8 seulement qui présentent d'une manière bien tranchée la structure spirale, qui devrait caractériser les tourbillons. On ne l'observe donc pas toujours, ce qui devrait avoir lieu dans la théorie de M. Faye. Nous pouvons même ajouter que les mouvements en spirale constituent une exception assez rare; ce sont des cas particuliers qui ne peuvent pas servir à expliquer un phénomène bien plus général”. — Young: le Soleil p. 98 — Secchi: le Soleil II p. 204.

(*m*) Young: le Soleil p. 97: „Souvent le mouvement en spirale ne dure que peu de temps, et quelquefois, après avoir duré un peu dans un sens, il reprend en sens contraire. Très souvent, pour les taches de grande étendue, on constate des mouvements en spirale en sens opposé dans des parties différentes de l'ombre; c'est même plutôt la règle que l'exception”.

(*n*) Voir par exemple la fig. 45 de „Secchi: le Soleil p. 88”.

tout dans les taches venant de s'agrandir, ou étant sur le point de disparaître (o). Dans ce dernier cas la formation des spirales s'explique facilement aussi. Car si les nuages photosphériques, dispersés par la vapeur produite au centre d'une tache naissante, filent en spirales, ils reviendront en spirales aussi lorsqu'au centre de la tache la vapeur recondensée de nouveau aura produit un vide, que la matière photosphérique viendra combler de toutes parts (263). C'est l'étude plus détaillée des phénomènes, qui causent la disparition des taches, que nous allons commencer maintenant.

§ 3.

Explication des causes, qui font disparaître les taches.

263. Il y a plusieurs causes qui font disparaître les taches : La première est la *perte de la chaleur*, perte, qui doit aboutir à la réapparition de la matière condensée, qu'on a vue disparaître lorsque la tache se formait. Cette réapparition de la matière condensée produira d'ailleurs dans la cavité gazeuse de la tache une diminution de volume, *un vide par conséquent, que la matière lumineuse environnante viendra combler de toutes parts*. Cette matière lumineuse s'écoulera alors pêle-mêle, comme dit Secchi, dans le gouffre qui disparaît (p).

264. La matière lumineuse qu'en paraissant les taches ont clairement refoulée (237, 243), en disparaissant elles l'aspirent donc de nouveau tout aussi distinctement (244, 252). Cette action aspirante a été décrite par Secchi (q), Chacornac (r), M. Lockyer (s) et M. Young (t).

265. Il est donc clair que la matière lumineuse, qu'on voit apparaître dans l'intérieur des taches, et qui finit par les remplir tout à fait, doit provenir de deux sources entièrement différentes : La première source est dans la vapeur remplissant les taches et y changeant sur place en poussière photosphérique par le refroidisse-

(o) Secchi: le Soleil I p. 88: „En réalité on n'observe ces tourbillons qu'à l'époque de la formation; ils se présentent souvent dans les moments de recrudescence et lorsqu'une tache est sur le point de disparaître”.

(p) Young: Elem. of Astr. p. 128.

(q) Secchi: le Soleil I p. 87 „Ce qui prouve bien ce pouvoir d'attraction exercé par les taches, c'est l'absorption des petites par les grandes. Elles se rapprochent peu à peu de la cavité principale dans laquelle on les voit bientôt disparaître”.

(r) Lockyer: Contrib. to Solar Physics p. 70. — Chacornac: Bulletin des Observ. faites à Ville-Urbaine. Groupe des taches solaires 6 Mars 1865.

(s) Secchi: le Soleil I p. 87.

(t) Young: le Soleil p. 94.

ment (*u*) (236); la seconde source est dans les nuages photosphériques ambiants, qui, aspirés par la tache, écoulent vers le noyau.

266. C'est par l'action combinée de ces deux sources que se produisent: 1^o les *filaments de la pénombre*, qui garnissant la paroi de la cavité en cachent en partie l'ouverture comme le font „les buissons à l'entrée d'une caverne” (*v*). Ces filaments sont presque toujours tournés vers le centre de la tache, mais dans les taches très irrégulières ils sont groupés par faisceaux parallèles disposés perpendiculairement aux bords. Ces faisceaux se trouvent dans des niveaux très différents lorsque, comme il arrive quelquefois, on les voit s'entrecroiser à angle droit (*w*). Les filaments de la pénombre indiquent alors surtout une origine photosphérique extérieure lorsqu'au moment que la cavité s'écroule on les voit se courber en spirales (*o*) (262); 2^o les *ponts photosphériques*, qui, divisant si souvent les taches déjà agées (*x*) envahissent le noyau de tous côtés, lorsque la tache est sur le point de disparaître (*y*); 3^o les *nuages*, filets, et voiles contournés et tourmentés, que Dawes, Secchi, Chacornac et Liais ont observés dans les noyaux des taches et qui là où ils font défaut causent ces trous, qu'a vus Dawes plus foncés que les parties voisines (*z*); 4^o les *pinceaux*, tels qu'on en voit un sur le dessin bien connu de M. Langley (*a*) et nous rappelant „un cristal de givre sur une vitre un matin d'hiver” (*b*) (236).

267. Indépendamment de l'action aspirante, que toute tache arrivée à son déclin exerce sur la matière lumineuse, qui l'entoure, cette matière lumineuse tend déjà tout de même à s'avancer dans l'intérieur de la tache et à l'effacer par conséquent. Cette tendance sera grande surtout toutes les fois que la matière lumineuse sera

(*u*) Secchi: le Soleil I p. 119.

(*v*) Young: le Soleil p. 90 — Secchi: le Soleil I p. 95, 3^o.

(*w*) Secchi: le Soleil I p. 92 fig. 48. Quoiqu'on voie généralement la pénombre „beaucoup plus brillante sur le bord intérieur, et plus foncée sur l'extérieur, de „sorte qu'elle contraste nettement et avec l'ombre et avec la surface du soleil dont „elle est voisine” (Young: le Soleil p. 91) il paraît cependant d'après M. Lockyer que cette différence d'éclat n'est qu'un effet de contraste. „This is a subjective appearance merely; as shown in photographs the inner edge is *not* brightened” (Lockyer: Chem. of the Sun p. 408.) Même dans les photographies, du reste, le même effet de contraste pourrait fausser notre jugement.

(*x*) Young: le Soleil p. 94.

(*y*) Secchi: le Soleil I p. 100 fig. 50.

(*z*) Liais: l'Espace céleste p. 54 — Secchi: le Soleil I p. 96 II p. 194. —

(*a*) Langley: Am. Journ. of Sc. IX March 1875 p. 193 — Frontispice du livre de M. Young: „le Soleil” — Secchi: le Soleil II p. 194, Pl. I.

(*b*) Young: le Soleil p. 97. — Liais: l'Espace céleste p. 51.

refoulée elle-même par quelque éruption de chaleur voisine (257). Voilà pourquoi *toute tache se déforme ou se déplace lorsque dans son voisinage une autre tache se produit ou change de contour* (c).

268. Mais cette tendance existera aussi lorsque tout à l'entour de la tache il n'y aura trace d'une perturbation pareille. Car elle doit être causée en tout cas par la *différence en vitesse angulaire* qu'ont d'après la loi de Carrington et Spoerer les différentes parties du bord photosphérique de la tache et le gaz dont la tache est remplie. Ce gaz en effet étant produit à la latitude moyenne de la tache en aura aussi la vitesse angulaire moyenne. Il marchera donc plus vite que le bord tourné du côté du pôle et plus lentement que le bord tourné vers l'équateur. De là des tiraillements incessants et des invasions de matière lumineuse et une cause nouvelle aussi de mouvement rotatoire (261).

269. *Il y a encore une autre différence de vitesse tendant aussi à effacer les taches.* C'est celle, qui existant entre les nuages photosphériques et le gaz qui les recouvre, et qui ayant causé dans les couches superficielles de ces nuages, soit un ralentissement, soit une accélération (242) *doit pousser ces nuages superficiels comme un voile devant la trouée des couches plus profondes.* Les deux différences de vitesse que je viens d'indiquer (et surtout la dernière) sont très importantes pour l'étude de la répartition des taches en zones. C'est ce que je tâcherai de démontrer dans le paragraphe suivant.

§ 4.

Explication de la répartition des taches en zones.

270. Les taches du soleil se présentent de chaque côté de l'équateur surtout entre les latitudes de 5° et de 30° . Sur l'équateur lui-même elles sont relativement rares ; on en trouve encore moins au delà de 35° de latitude, et seulement une tache a été signalée jusqu'à présent à plus de 45° de l'équateur (d) (291). Si les taches ne

(c) Secchi: le Soleil I p. 142. — Lockyer: Chem. of the Sun p. 412: „The last act in the history of a spot is its invasion by the faculae. These remain long after the spot has entirely closed up, and in this connection it is important to remark that new spots very often break out in the old place”.

(d) Lud. Thilo: De Solis maculis a Soemmeringio observatis. Francof. ad Moenum 1828 p. 20, 22. — Carrington: Obs. of the Spots of the Sun, from Nov. 1853 to March 1861 made at Redhill — Young: le Soleil p. 110 — Young: Elem. of Astr. p. 129 — Nature, Apr. 3, 1890 p. 522 — Secchi: le Soleil I p. 131: „En 1846 M. Peters, à Naples observa une tache à 50° degrés de latitude nord. Cette tache est la plus éloignée de l'équateur qu'on ait jamais observée d'une manière certaine, car on regarde comme douteuse celle dont parle Lahire, et qui aurait eu pour latitude 70°

sont pas à tout moment également réparties dans les deux hémisphères boréal et austral „il y a cependant compensation dans les „longues périodes, et si l'on prend la moyenne pour un grand nombre d'années on trouvera peu de différence" (e).

271. Pour bien faire ressortir la répartition des taches en zones j'ai construit le Tableau suivant où l'on voit réunis les résultats obtenus par Carrington (f) et Spoerer (g).

RÉPARTITION DES TACHES SUR LA SURFACE DU SOLEIL.

| Latitude. | Taches observées dans les deux hémisphères par | | |
|-----------|--|----------------------------|----------------------------|
| | Carrington (1853—1861). | M. Spoerer (1861—1867). | M. Spoerer (1855—1879). |
| 0° | 5 | 40 | } 471 |
| 5° | 116 | 227 | |
| 10° | 360 | 404 | } 2522 |
| 15° | 325 | 242 | |
| 20° | 351 | 88 | } 2158 |
| 25° | 191 | 35 | |
| 30° | 126 | 11 | } 1303 |
| 35° | 37 | 5 | |
| 40° | | 1 | } 740 |
| 45° | 2 | | |
| | | | } 203 |
| | | | } 84 |

„nord. La tache observée par M. Peters possédait un mouvement propre très prononcé, „mais en sens inverse de la rotation solaire; dans ce mouvement elle parcourait „chaque jour — 64' en longitude et + 11' en latitude”.

(e) Secchi: le Soleil I p. 131. — Young: le Soleil p. 112. — „Dr. Smysloff of the „Wilna Obs has likewise observed a sort of hemispherical see-saw in the behaviour „of spots; . . . but this observer inclined to think that if we pursue our researches „for a length of time sufficient great we shall find an equal amount of spots in each „hemisphere”. Balf. Stewart: Nature June 2 1881. Solar Physics. Sun-spots. — Quelquefois la prépondérance des taches dans une hémisphère dure assez longtemps. C'est ainsi par exemple que de 1881 à 1890 c'était toujours l'hémisphère australe, qui était la plus riche en taches. Monthly Notices Nov. 1891: Mean Areas and Heliogr. Latit. of Sunspots in the year 1890 „The northern hemisphere showed a „slight preponderance over the southern as to spot activity in 1890, for the first time „since 1881”.

(f) Carrington: loc. cit. — Secchi: le Soleil I p. 136. Tableau B — Young: Elem. of Astr. p. 129.

(g) Young: Elem. of Astr. p. 129. Distribution of Sunspots in Latitude. — Spoerer: Sonnenfleckenbeobacht. 1880—1884, Publ. d. Astrophysik. Obs. zu Potsdam IV. 4 p. 414. (Beide Halbkugeln: Min. 1856 K bis Min. 1878 B).

272. Cette répartition des taches en zones est une particularité, dont ma théorie prévoit la nécessité. Je ferai voir en effet 1^o que dans toute zone photosphérique il y a une *disposition chimique spéciale* à la formation de taches, disposition qui à la rigueur pourrait expliquer à elle seule la répartition qu'on observe, 2^o que dans toute zone photosphérique il y a aussi une *disposition mécanique spéciale*, qui n'empêchant pas sensiblement la formation des taches entre les latitudes de 5^o et de 30^o, entrave bien cette formation aux latitudes beaucoup différentes.

273. Occupons-nous en premier lieu de la *cause chimique*, qui, bien que n'ayant probablement qu'une *importance secondaire*, doit contribuer cependant à faire apparaître les taches en zones distinctes, égales en général des deux côtés de l'équateur. Cette cause chimique est l'inégalité dans la composition chimique de la photosphère et de l'atmosphère solaire aux différentes latitudes (83), inégalité qui donnant à chaque zone photosphérique 1^o une composition gazeuse spéciale, 2^o une matière condensée spéciale et 3^o une atmosphère spéciale aussi, doit causer dans chaque zone respectivement 1^o la surdissociation d'un système actif $A + B + R$ spécial (61), 2^o un pouvoir émissif spécial (46), 3^o un empêchement spécial au refroidissement dû aussi à l'énergie inégale des protubérances et des rayons coronaux aux latitudes différentes (123).

274. *Un refroidissement uniformément égal du globe photosphérique est donc tout à fait inconcevable*, et il le serait même aussi, si la cause chimique, que je viens de rappeler, n'existait pas; car nous savons qu'il y a en tout cas le *renflement équatorial de l'atmosphère solaire*, qui doit donner à chaque zone photosphérique un refroidissement spécial (78) (h).

275. Or comme d'après ma théorie les taches sont produites par le refroidissement, *une répartition uniforme des taches sur la surface du soleil serait inconcevable de même*. On comprend au contraire parfaitement que les taches tendront à se produire là surtout où la composition chimique et la diminution de chaleur sont telles que plus aisément qu'ailleurs il en résulte une éruption de chaleur. Or, une même composition chimique et une même diminution de chaleur ne pouvant se présenter que dans deux parallèles à distances égales des deux côtés de l'équateur, il est donc évident que la répartition des taches doit se faire par zones parallèles.

276. Ma théorie en rendant compte ainsi de l'égalité générale-

(h) Sir John Herschel: Solar Physics p. 49 — Young: le Soleil p. 134.

ment observée dans le nombre des taches en deux parallèles de latitudes égales mais contraires, prévoit aussi le cas, ou cette égalité semble plus ou moins en défaut (270) (i). Car, tandis que la chaleur totale, que la surdissociation engendre, doit être dans ces deux parallèles nécessairement la même, les éruptions partielles et locales peuvent grandement différer (346). Elles sont sous ce rapport entièrement analogues à celles des protubérances, qui elles aussi peuvent avoir une étendue très différente, qui quoique réellement déterminée chaque fois par la chaleur de la matière ambiante, nous fait penser plutôt à un effet du hasard. *La même chaleur, qui produit à une latitude boréale par exemple un petit nombre de taches bien grandes peut causer à la même latitude australe un grand nombre de taches bien petites* (282, 283). C'est ce qui a probablement conduit de la Rue et Secchi à considérer la surface de la totalité des taches comme un caractère plus important que leur nombre seulement (j). Les taches pourraient être même si petites qu'elles cessassent d'être visibles.

277. L'explication chimique, que je viens d'esquisser comme pouvant rendre compte de la répartition des taches en zones, était la seule, qui me parut possible lorsque je publiai ma théorie pour la première fois (k). M. Fowler en dit avec raison „qu'elle laissait encore beaucoup à désirer” (l). Car, si elle rendait bien compte, de l'apparition des taches en zones parallèles, elle ne nous expliquait aucunément pourquoi ces zones sont précisément celles que le Soleil nous fait voir. *Cette lacune n'existe plus dans ma théorie d'aujourd'hui.* Car je tâcherai de faire voir maintenant que les zones des taches ont une latitude déterminée parce que c'est à cette latitude déter-

(i) Young: Elem. of Astr. p. 129 fig. 50. Distribution of Sun-spots in latitude. — Young: le Soleil p. 112.

(j) de la Rue, Stewart and Loewy: Researches on Solar Physics, Phil. Trans. 1870 p. 128 — Secchi: le Soleil I p. 179 — Compt. Rend. Oct. 1875.

(k) Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles variables p. 39. — Brester: Nature April 25 1889 p. 606: „I only say that the spots must be found in parallel zones; of the breadth of those zones I say nothing. The spots can only be produced in places, where the temp. and the chemical composition work together to produce eruptions of heat. As the places of equal chemical composition and of equal temperature are only possible in the photosphere in two parallel zones of equal latitudes on opposite sides of the equator, it is plain that the spots must be produced there”.

(l) A. Fowler: Nature April 25, 1889 p. 606: „Of course, if it be assumed that the substances present in Polar regions are not such as to form combinations competent to produce spots, the difficulty is overcome, but an explanation depending upon such an assumption is far from satisfactory”.

minée que la nappe photosphérique a une vitesse angulaire ressemblant le plus à celle du soleil gazeux lui-même et est donc là uniquement assez tranquille en elle-même non seulement pour y permettre la surdissociation d'une grande quantité à la fois de matière dissociée, mais aussi pour conserver quelque temps l'empreinte, que sous la forme d'une tache une éruption de chaleur y produit.

278. Et en effet il est clair tout d'abord que *la latitude, où d'après les observations assidues de Carrington et de M. Spoerer les taches se montrent en plus grand nombre, est précisément la latitude unique où, d'après ma théorie, la nappe photosphérique se meut avec la même vitesse que le gros de la masse du soleil.* En comparant les tableaux 102 et 271 on voit immédiatement que c'est à la latitude de 11° que se présente cette coïncidence remarquable.

279. Or, si cette coïncidence existe, il y a d'autant moins de raison de l'attribuer à un effet du hasard, qu'il est plus facile de l'expliquer comme une conséquence entièrement prévue de ma théorie des taches. Il est évident en effet qu'à toute latitude autre que 11° la différence en vitesse angulaire des différentes couches photosphériques superposées (242, 269) doit 1° contrarier plus ou moins la production d'éruptions assez fortes pour pouvoir creuser des trous notables, et 2° empêcher plus ou moins qu'un trou éventuel creusé dans les couches photosphériques plus profondes se montre comme tache, *les couches supérieures photosphériques y étant poussées devant l'orifice comme un couvercle à coulisse.*

280. Dans la parallèle de 11° ces deux obstacles à la formation des taches n'existent pas, ou y *existent moins qu'ailleurs*; et il est donc clair que la zone du maximum des taches se trouvant précisément là, les autres parallèles montreront généralement d'autant moins de taches que, des deux côtés de la parallèle de 11° , elles se trouveront plus près des pôles ou de l'équateur et auront par conséquent une plus grande différence de vitesse avec le gros de la masse gazeuse du soleil.

281. Pour comprendre tout à fait l'influence de cette différence de vitesse sur la formation des taches, il me reste à expliquer plus en détail le mécanisme déjà sommairement indiqué plus haut (279) des deux obstacles que cette différence de vitesse doit faire naître.

282. *Le premier obstacle a rapport à la production des éruptions de chaleur, qui doivent former les taches (231).* Les taches étant d'autant plus considérables qu'elles auront été creusées par des éruptions de chaleur plus fortes, il est donc évident que toute cause tendant à amoindrir ces éruptions doit aussi amoindrir les taches.

Or, comme d'après mon Principe II ces éruptions ne peuvent atteindre leur maximum d'énergie que dans la matière complètement tranquille il n'y a rien qui, *ceteris paribus*, les affaiblira plus qu'une agitation quelconque dans la matière dissociée. Car cette agitation, en troublant la superposition de couches $A + B + \infty R$ et $R + \infty (A + B)$ séparées (60, 61) et en empêchant de la sorte l'existence de molécules $A + B$ trop fortement séparées (62) entravera la surdissociation dans la matière $A + B$ dissociée et rendra cette matière moins propre à produire des éruptions de chaleur bien fortes. (64, 72 z).

283. Comme la différence de vitesse indiquée (279) en poussant les nuages photosphériques à travers les couches photosphériques dissociées doit causer dans ces couches une agitation quelconque, on prévoit donc aisément que la photosphère se trouera d'autant moins que cette différence de vitesse sera plus grande et que par conséquent ses zones seront plus rapprochées des pôles ou de l'équateur.

284. *Dans ces zones déjà mal disposées ainsi pour la formation des taches le second obstacle indiqué plus haut (279) collaborera avec le premier pour les empêcher tout à fait.* Car dans ces zones la même différence de vitesse pousse les couches photosphériques supérieures comme un voile devant la trouée des couches plus profondes. (269). Si ce voile est poussé plus vite que ne s'ouvre la trouée, cette dernière doit demeurer invisible ou ne se montrer tout au plus que comme ces „*taches voilées*” ou ces „*cratères sans taches*” que M. Trouvelot et Secchi ont observés sur toute la surface du soleil (*m*).

285. Secchi dit d'ailleurs que toute la surface du soleil est quelquefois tellement recouverte d'un réseau sombre à points noirs „qu'on serait tenté de voir partout des pores et des *rudiments de taches*” (*n*). Ce qu'ici l'illustre observateur dit être tenté d'admettre (et ce que M. Lockyer admet évidemment aussi) ma théorie le fait connaître comme la réalité. *A chaque latitude* en effet des trous

(*m*) Trouvelot: Amer. Journ. of Sc. March 1876 3d Ser. XI. — Secchi: le Soleil I p. 113 — Young: General Astronomy p. 189: „Occasionally, what Trouvelot calls „*veiled spots*” are seen beyond the 45° limits, grayish patches surrounded by faculae, „which look as if a dark mass were submerged below the surface and dimly seen through a semi transparent medium”.

(*n*) Secchi: le Soleil I p. 58. — Lockyer: Chem. of the Sun p. 408: „From this it follows that there should be observed on the sun very definite phenomena of the same kind but very different in degree; and that if some of the phenomena are limited to certain regions, as we shall afterwards find them to be, others are universally distributed over the sun's surface. As a matter of fact such definite phenomena

photosphériques se creusent et *des taches essaient de se faire jour*. Mais les trous creusés tout partout ne peuvent être distingués comme taches que si, à dimensions suffisantes, leurs orifices ne sont pas immédiatement fermés par un voile photosphérique s'interposant entre le trou plus profond et l'observateur.

286. Pour nous faire une idée du nombre de jours qu'il faudra au voile photosphérique décrit pour effacer complètement une tache j'ai construit le Tableau ci-dessous, où la tache à effacer, soustendant un arc géocentrique de 1 minute, doit être considérée comme plutôt grande que petite (*o*). Le nombre de jours requis pour voiler complètement la tache a été calculé en divisant la longueur héliocentri-

| I. | II. | III. | IV. | V. | VI. |
|----------------------|---|--|--------------------|---|--|
| Latitude <i>b</i> | Angle de rotation diurne de la photosphère (Duner). | Angle de rotation diurne de l'atmosphère solaire (Crew). | Différence II—III. | Degrés hélioc. mesurés par une tache ayant 1' de longueur géocentrique 23000 $108.5 \times 60 \times \cos. b$ | Nombre de jours requis pour voiler complètement une tache mesurant 1 minute géocentrique $\frac{v}{IV}$ |
| 0 | 14.14 | 13.72 | + 0.42 | 3.5 | 8.3 |
| 11 | 13.80 | 13.80 | 0 | 3.57 | ∞ |
| 15 | 13.66 | 13.85 | - 0.19 | 3.62 | 19 |
| 30 | 13.06 | 13.98 | - 0.92 | 4.04 | 4.3 |
| 45 | 11.99 | 14.12 | - 2.13 | 4.95 | 2.3 |
| 60 | 10.62 | 14.25 | - 3.63 | 7.00 | 1.9 |

"differing only in degree are well known. I refer to each in turn beginning with the most general: 1 pores 2 veiled spots, 3 small quiet spots, 4 large areas containing several spots." — "Die grosse Ausdauer der Fackeln, welche die Beobachtungen von Herrn Wilsing in Potsdam lehrten, lässt schliessen dass sie nur die sichtbar hervortretenden Merkmale von Vorgängen sind, die vermuthlich in tiefer liegenden Schichten des Sonnenkörpers ihren Ursprung haben. . . . Dass es wirklich die Fackeln sind, von denen der Ursprung der Flecken sich herleitet, hat Herr Prof. Spörer in Potsdam durch eingehende Untersuchungen dargethan" (Samter: Himmel und Erde I; Astr. Neuigkeiten p. 44). Je reviens ici aux facules pour rappeler que, si dans la photosphère une éruption de chaleur est trop faible ou trop profonde pour trouer suffisamment et tacher par conséquent cette nappe nuageuse, elle produira cependant toujours un relèvement local de la surface photosphérique. (237—239).

(*o*) Young: le Soleil p. 98.

que de la tache par la différence en vitesse angulaire de l'atmosphère solaire et des nuages photosphériques (102), et repose par conséquent sur la supposition que les couches photosphériques trouées auraient la vitesse, que M. Duner a trouvée pour le gaz absorbant photosphérique (99), tandis que les couches photosphériques tout à fait extérieures, fonctionnant comme voile, auraient la vitesse que M. Crew a trouvée pour l'atmosphère du soleil (85).

287. Ce tableau fait ressortir que le voile, qui aux latitudes, grandement différentes de 11° est causé par la différence de vitesse entre les nuages photosphériques plus profonds et l'atmosphère, qui les recouvre, doit pouvoir être poussé tellement vite devant l'orifice des taches naissantes que non seulement il raccourcira leur existence mais les empêchera même de montrer un orifice. *Il est clair en effet qu'aux latitudes de 45° à 60° ce voile viendra couvrir les taches avant qu'elles n'aient eu le temps de s'ouvrir*; car, si même dans les „zones royales” (p) beaucoup mieux disposées pour la formation des taches (282, 283) ces cavités photosphériques demandent le plus souvent plusieurs jours ou même des semaines pour se développer (q), elles ne réussiront pas à montrer un orifice, là, où moins fortement, creusées (282), deux jours suffisent déjà aux couches photosphériques supérieures pour voiler toute la superficie d'une grande tache toute formée.

288. Voilà expliqué aussi pourquoi les taches, qui se montrent de temps en temps à des latitudes exceptionnellement hautes, ont en général une étendue très petite et une durée bien courte (r). Il n'est pas difficile d'ailleurs de comprendre, qu'une tache étant complètement formée, son bord relevé résistant étudié plus haut (255—257) doit empêcher plus ou moins les voiles photosphériques décrits à se glisser devant l'orifice. Ce n'est qu'après avoir perdu leur bord résistant relevé, „la couronne de facules, qui environne les taches cratériformes” que la cavité des taches est envahie par la matière photosphérique ambiante. „Lorsqu'on voit disparaître ces facules,

(p) Secchi: le Soleil I p. 24.

(q) Young: le Soleil p. 94 — Secchi: le Soleil I p. 60. Voici ce qu'un observateur aussi assidu du soleil que M. Perry nous apprend quant au temps qu'il faut à une tache pour se développer: „A spot will often attain its full size in five or six days, „although exceptionally large ones occasionally occupy a longer time in their first „development. If no remarkable increase is noticed in a spot within two or three „days from its birth, it will in all probability never attain to any considerable size”. (Lockyer: Chem. of the Sun p. 406).

(r) Nature, March 20, 1890.

„lorsque le bourrelet, qui entoure la pénombre s'abaisse, c'est que la tache est sur le point de disparaître et l'on peut avoir la certitude que, au bout d'un jour ou deux elle sera complètement fermée" (s).

289. Si le Tableau 286 fait ressortir qu'il est à peu près impossible qu'aux latitudes de 40° à 75° des taches se produisent, il fait prévoir cependant que, les nombres V augmentant plus rapidement que les nombres IV, les nombres VI augmenteront de nouveau à partir de 60° avec la latitude. Et en effet, si par exemple une tache de 1' demande à 30° quatre jours pour être complètement voilée, et à 60° deux jours seulement; à 80° elle demandera quatre jours de nouveau et à 89° il lui en faudra à peu près trente (t).

290. Aux latitudes de 85° à 90° ce n'est par conséquent pas la différence de vitesse entre les nuages photosphériques et le gaz, qui les recouvre, qui empêcherait la formation de taches non voilées. Mais ces taches polaires éventuelles seraient tellement rapprochées du bord du disque qu'il nous serait impossible de regarder dedans et d'y discerner une ombre. Il y aura d'ailleurs plusieurs circonstances, qui pourront entraver la formation de taches polaires: Outre celle, dont j'ai déjà souvent parlé plus haut (282, 283) il y aura aussi la composition chimique et physique spéciale des zones photosphériques circumpolaires (83, 273, 274) et la composition physique surtout. Car ces zones étant d'après ma théorie et celle de J. Herschel (80 z) plus refroidies que celles de l'équateur, seront plus riches par conséquent en matière condensée, plus épaisses par conséquent, et auront besoin d'éruptions de chaleur plus énergiques pour être suffisamment trouées.

291. Malgré ces obstacles divers à l'apparition de taches polaires, il paraît cependant que d'accord avec les prévisions de ma théorie (289) ces taches existent plus ou moins. Ce sont elles probablement, qui forment „ces calottes polaires plus obscures et intermittentes, dont parle si souvent Secchi (u) comme bordées de granulations plus vives, qui tracent quelque chose d'analogue à des „zones polaires". Creusées perpendiculairement à l'écliptique, bordées de bourrelets faculaires, et d'ailleurs relativement insignifiantes (290), nous ne voyons pas leurs cavités; mais elles n'en attestent pas moins la réalité de leur existence 1^o par l'augmentation dans la fréquence et la hauteur moyenne des protubérances à partir de la latitude de

(s) Secchi: le Soleil II p. 200.

(t) Ces derniers nombres 4 et 30 sont incertains, parce que pour les latitudes plus grandes que 60° les nombres II et III sont incertains de même.

(u) Secchi: le Soleil I p. 114, 133, II p. 129, 145.

75° (*v*), 2° par l'apparition de „couronnes faculaires polaires” (*v*¹) et 3° par les pinceaux courts mais vifs, qu'on a souvent vus dans la couronne et qui divergeant non pas du centre du soleil, mais des deux extrémités de l'axe solaire (*w*) semblent, tout comme l'augmentation des protubérances polaires et l'éclat inaccoutumé qu'y montre aussi souvent la chromosphère (*x*), l'effet prévu (127) du moindre pouvoir émissif de taches éventuelles. Si les protubérances, que les taches polaires engendrent de la sorte, ne sont pas comptées parmi les protubérances „éruptives”, ce n'est pas que leur forme s'y oppose, mais c'est plutôt parce que l'atmosphère polaire étant relativement basse et exempte de principes métalliques (77), les protubérances, que les éruptions de chaleur y allument dans la matière tranquille, sont toujours relativement peu élevées et ne montrent jamais trace de métaux (*y*).

§ 5.

Explication de l'apparence granulée du globe photosphérique.

292. Il résulte des considérations étudiées dans ce chapitre que la nappe nuageuse photosphérique, bien loin d'être aussi tran-

(*v*) Secchi: le Soleil II p. 143, fig. 207. Courbe représentant le nombre des protubérances observées sur le bord solaire et distribuées selon les latitudes héliographiques — Young: le Soleil p. 161 fig. 45. Fréquence relative des protubérances et des taches du soleil. —

(*v*¹) Secchi: le Soleil II p. 154 „les facules polaires étaient précisément très développées et elles formaient une couronne très marquée autour des pôles. Elles étaient „si tranchées, que nous les avons suivies pendant plusieurs rotations il y avait „évidemment une relation entre ces couronnes polaires et les maxima secondaires des „protubérances observées à cette époque dans cette même région”.

(*w*) W. A. Norton: Amer. Journ. of Science I 3d Ser. p. 1 — Clerke: Geschichte der Astr. p. 234 etc. — Young: le Soleil p. 178 — Holden: Himmel und Erde I p. 443.

(*x*) Secchi: le Soleil II p. 144.

(*y*) Secchi: le Soleil II p. 157. — Ibid. II p. 147: „Aux pôles, lorsqu'elles y sont „nombreuses, les protubérances n'atteignent jamais des hauteurs très considérables; „celles de 64 secondes sont extrêmement rares; elles n'atteignent généralement pas „40 secondes.” ibid. II p. 294: „Près des pôles, l'activité est moins grande, la chromosphère est seule agitée et soulevée; il en résulte des protubérances, qui ne contenant que de l'hydrogène, ne peuvent fournir les vapeurs nécessaires à la formation „des taches. Toutes les protubérances ne sont donc pas de véritables éruptions: la „différence consiste essentiellement dans la présence ou dans l'absence des vapeurs métalliques”. ibid. II p. 157: „Aux pôles, les filets des panaches sont verticaux ou très „légèrement inclinés; quelquefois ils ressemblent à une pluie qui retombe verticalement”.

quille que tout le reste du soleil, est tourmentée partout par des tiraillements incessants. Mais ces tiraillements, provoqués surtout par des éruptions de chaleur et par le mouvement inégal des différentes zones photosphériques, tournant toutes différemment sur l'axe et toutes aussi, à l'exception d'une seule, tout autrement que la masse gazeuse du soleil, ont lieu *sans changement notable de température* (45, 50—52, 65, 68). Ils restent localisés par conséquent dans le niveau photosphérique où ils prennent naissance et ne dérangent le gaz solaire que dans le voisinage immédiat (242) de la nappe photosphérique (*z*).

293. Cette nappe photosphérique est loin d'être unie à la surface. Car les éruptions de chaleur, qui dans son intérieur se succèdent, la bossellent sans relâche (*a*) et produisent ainsi, si elles sont fortes, des facules (237, 239, 285) et, si elles sont faibles, des granulations (294). Ces granulations, qui d'après M. Langley forment à peu près la cinquième partie de la surface solaire et donnent au moins les trois quarts de la lumière de cet astre (*b*), doivent par conséquent leur éclat remarquable à la même cause que les facules (3) et elles sont pour la même raison tout aussi passagères. Leur courte durée a été mise en évidence par deux épreuves photographiques, que M. Janssen a obtenues d'une même partie du soleil à 50 minutes d'intervalle (*c*).

294. N'oublions pas d'ailleurs que nous regardons tous les détails de la surface photosphérique : son réseau sombre à points noirs et à taches rudimentaires (285) (*d*), ses pores (*e*), ses grains (*f*), ses feuilles de saule (*g*), ses brins de paille (*h*), ses granules (*i*), son aspect barbouillé (*j*), et son réseau photosphérique (*k*), à travers une

(*z*) Des tiraillements analogues, mais moins importants, se produisent aussi dans les autres couches solaires. Mais, comme tous ces tiraillements ont lieu de même sans changement notable de la température, les déplacements ainsi causés ont relativement peu d'étendue et peu de durée. Il n'en est pas moins vrai que, si la tranquillité du soleil de ma théorie est grande si on la compare avec l'agitation violente du soleil bouleversé des autres, cette tranquillité cependant n'est que toute relative et nullement parfaite.

(*a*) Schwabe: Cosmos v. Humboldt p. 402.

(*b*) Janssen: Ann. Bur. d. long. 1879 p. 679 — Young: le Soleil p. 79.

(*c*) Young: le Soleil, p. 87 fig. 28.

(*d*) Secchi: le Soleil I p. 59, 62.

(*e*) W. Herschel: Phil. Trans. Vol. XCI (1801) p. 303.

(*f*) Dawes: Monthl. Not. Vol. XXIV p. 162 (1864).

(*g*) Nasmyth: Rep. Brit. Ass. 1862 p. 16.

(*h*) Dawes: Mem. Roy. Astr. Soc. XXI p. 161 (1852).

(*i*) Langley: Am. Journ. of Sc. Vol. VII (1874) p. 92.

(*j*) Huggins: Young: le Soleil p. 85.

(*k*) Janssen: Ann. d. Bur. d. long. 1878 p. 689. — Perry: Observ. VII p. 154.

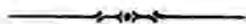
enveloppe immense de matière pour la plus grande partie gazeuse, mais en partie aussi *pulvérulente ou fumeuse* (112—118, 166, 167, note 2) (2). Cette enveloppe changeant continuellement en pouvoirs réfringent et absorbant, là où le refroidissement cause un épaissement local dans la matière condensée ou allume des protubérances et des banderolles coronales, doit donner un aspect tourmenté à la surface qu'elle couvre. Cette surface, fût-elle complètement immobile, ne s'en montrerait pas moins plus ou moins agitée. Et il sera souvent difficile de distinguer ce qui dans les mouvements photosphériques, qu'on observe, est factice ou réel (2').

(2) Young: le Soleil p. 86, 191 etc. „Il n'est pas certain que les portions agitées de l'atmosphère solaire auxquelles est due l'apparence confuse en question soient situées dans le voisinage du soleil. Il se peut qu'elles se trouvent fort haut, et il n'y aurait rien de déraisonnable à supposer que les banderolles et les masses lumineuses de la couronne ne soient pas étrangères à ce phénomène; il est presque certain, que toute grande agrégation de matière chromosphérique doit modifier l'apparence de tout ce qui est au dessous. Le fait est, évidemment, que nous regardons les granules et les autres détails de la surface solaire, non pas à travers une atmosphère mince, fraîche et calme comme celle de la terre, mais à travers une enveloppe de matière en partie gazeuse, et en partie peut-être pulvérulente ou fumeuse, de plusieurs milliers de lieues d'épaisseur et toujours profondément et violemment agitée". (p. 86).

(2') Une étude spéciale de l'influence de la réfraction dans l'atmosphère solaire sur l'apparence des phénomènes, qui se passent dans les couches plus profondes, vient d'être faite par M. A. Schmidt (Die Strahlenbrechung auf der Sonne. Ein geometrischer Beitrag zur Sonnenphysik. Stuttgart, 1891). Je n'ai pas encore eu l'occasion de lire cet ouvrage récent; mais d'après l'analyse qu'en a donnée le journal „Himmel und Erde" M. Schmidt considère l'influence indiquée comme excessivement importante. „Der Verfasser wäre sogar geneigt, die Protuberanzen als ein Resultat dieser unregelmässigen Strahlenbrechung anzusehen". (Himmel und Erde, April 1892 p. 331).

CHAPITRE V.

EXPLICATION DE LA PÉRIODICITÉ DANS LES PHÉNOMÈNES SOLAIRES.



§ 1.

Description sommaire des phénomènes, et explication préalable du changement dans le spectre des taches aux différentes époques d'une même période.

295. Ma théorie ayant été imaginée pour expliquer la périodicité des étoiles variables (58, 71, 72), il n'est pas étonnant qu'elle aboutisse aussi à l'explication de la périodicité dans les phénomènes solaires. Cette périodicité que l'observation assidue des taches a fait découvrir à Schwabe (*m*), se manifeste dans les phénomènes solaires (*n*) suivants :

296. 1°. Le nombre (*o*), le „nombre relatif” (*p*) et la superficie totale des taches (*q*) montrent un accroissement et un décroissement presque réguliers, l'intervalle d'un maximum au suivant étant en moyenne de 11, 11 années. Cette période n'est cependant aucunement fixe ou certaine, comme celle d'un mouvement orbitaire ; car entre les maxima de 1829 et de 1837 par exemple il n'y avait qu'un intervalle de 7 années, tandis qu'entre 1788 et 1804 il y en avait

(*m*) Schwabe : Schum. Astr. Nachr. (1844) No. 495. — Humboldt : Kosmos 2e Abth. p. 401, (1851).

(*n*) Il y a aussi des phénomènes terrestres qui (comme les oscillations diurnes de l'aiguille aimantée et la fréquence des aurores polaires) ont une période en tout semblable à celle des taches solaires. Mais nous ne nous en occuperons pas pour le moment. (336, *ij*).

(*o*) Schwabe : loc. cit.

(*p*) R. Wolf : Mitth. d. Naturf. Ges. in Zurich 1852. — Young : le Soleil p. 115.

(*q*) de la Rue, B. Stewart and Loewy : Phil. Trans. 1870, p. 128. — Secchi : le Soleil I, p. 180.

un de 16 années (*r*). On a tenté d'expliquer cette variabilité de la période moyenne de 11,11 années par l'hypothèse d'autres oscillations se superposant à l'oscillation principale; mais ces tentatives n'ont pas complètement réussi (*s*). Il est clair en tout cas que les taches ne montrent aucune période nettement précisée et invariable. Car si une telle période existait l'ingénieux procédé de M. Wolf (*t*) l'aurait découverte (*u*).

297. Ce n'est d'ailleurs pas seulement la longueur de la période, qui est variable, il en est de même de la grandeur des maxima divers. M. Wolf a remarqué à ce propos qu'en général les maxima se développent d'autant plus fortement, qu'ils se succèdent à d'intervalles plus courts (*v*). C'est, dit-il, comme si une quantité déterminée d'énergie étant disponible pour chaque minimum, cette énergie, tantôt s'épuisait vite en agissant fortement, tantôt durait plus longtemps en modérant son action (346).

298. 2°. Un autre fait important découvert par M. Wolf c'est que l'intervalle entre un minimum et le maximum suivant n'est que d'environ 3,7 années en moyenne, tandis que l'intervalle entre le maximum et le minimum suivant est de 7,4 années (*w*). La perturbation, qui produit les taches, se montre donc tout à coup, mais s'éteint peu à peu (*x*) (345).

299. 3°. Des deux côtés de l'équateur les taches apparaissent dans une zone, qui diminue en latitude avec le temps et met 12 à 14 années pour descendre de la latitude moyenne de 30° où on la voit apparaître jusqu'à la latitude moyenne de 6° environ où elle disparaît de nouveau. Tous les 11 ans durant le minimum une telle zone se reproduit de nouveau et montre déjà ses taches d'une latitude aussi élevée que possible, alors que la zone précédente existe encore, mais est près de s'éteindre dans le voisinage de l'équateur. Une zone nouvelle est au commencement pauvre en taches, mais à mesure qu'avec le temps elle diminue en latitude moyenne, le nombre

(*r*) Wolf: Mitth. über die Sonnenflecken, Vierteljahrsschrift d. N. Ges. p. 58. — Young: le Soleil p. 118.

(*s*) D. J. Korteweg: Sitz. Ber. d. Kais. Ak. d. W., Oct. Heft 1883: Ueber die von Prof. Wolf vermuthete Doppelperiode der Sonnenfleckenhäufigkeit.

(*t*) Wolf: Astr. Mitth. No. 57, Zurich. — Korteweg: loc. cit. 1—3.

(*u*) Korteweg: loc. cit. p. 14.

(*v*) Mitth: No. XII, p. 192. — Baxendell: Monthl. Not. Vol. XXI, p. 141. — Clerke: Gesch. d. Astr. p. 214.

(*w*) Secchi: le Soleil I p. 181.

(*x*) Wolf: Neue Unters. Mitth. d. Nat. Ges. 1852 p. 249. — Secchi: le Soleil I p. 181.

des taches augmente rapidement jusqu'à la latitude moyenne de 16° environ, puis diminue de nouveau, mais lentement jusque dans la parallèle plus ou moins équatoriale, où la zone s'éteint (*ij*). Cette particularité, que Carrington et M. Spoerer ont fait connaître, peut être étudiée sur le Tableau suivant :

300. CHANGEMENT DES TACHES EN LATITUDE MOYENNE ET EN NOMBRE AUX DIFFÉRENTES ÉPOQUES, QU'À DISTINGUÉES M. SPOERER DANS QUATRE PÉRIODES SUCCESSIVES.

| | | | |
|---------------------|------------|-----------|------------|
| | | 10° (161) | |
| Min. 1856 | 8° (36) | | 32° (2) |
| | 5° (11) | | 27° (114) |
| | | | 21° (461) |
| | | | 18° (756) |
| Max. 1860 | | | 17° (1000) |
| | | | 14° (844) |
| | | | 12° (555) |
| | | | 10° (397) |
| | | | 9° (188) |
| Min. 1867 | 31° (7) | | 8° (54) |
| | 22° (145) | | 8° (22) |
| | 23° (613) | | |
| Max. 1871 | 18° (1044) | | |
| | 16° (858) | | |
| | 14° (801) | | |
| | 11° (438) | | |
| | 11° (226) | | |
| | 10° (89) | | |
| | 9° (73) | | |
| Min. 1879 | 7° (24) | | 36° (2) |
| | 5° (6) | | 21° (99) |
| | | | 19' (345) |
| | | | 17° (465) |
| | | | 14° (520) |
| Max. 1884 | | | 12° (716) |
| | | | 11° (483) |

En comparant les tableaux 271 et 300 on voit immédiatement que

(*ij*) Spoerer : Publ. d. Astroph. Obs. zu Potsd. Bd. IV. 4, Sonnenfleckenbeobachtungen p. 414 : Häufigkeitszahlen nach Zonen von je 5 Graden der heliogr. Breite, reducirt für 10 Rotationsperioden. — Lockyer : Chemistry of the Sun p. 430, fig. 126: Spoerer's curve of the change in latitude of sun-spots; fig. 129 Spoerer's curve, showing amount of spotted area; fig. 130 Combination of Spoerer's curves — Young : Nature Nov. 18, 1886. — Secchi : le Soleil I p. 187 : Tableau des latitudes moyennes et des fréquences des taches observées par M. Spoerer.

la latitude moyenne des taches lorsqu'elles se montrent en plus grand nombre sur la surface du soleil est une toute autre que la latitude déterminée, où les taches se forment le plus abondamment. Tandis que cette dernière latitude se trouve dans la zone de 10° à 15° , la latitude moyenne des taches au maximum est le plus souvent de 16° environ. Durant le dernier maximum cependant elle aussi était de 12° à peu près (*z*).

301. 4° . Les raies les plus obscures du spectre des taches changent du maximum au minimum et elles deviennent d'autant plus riches en raies métalliques qu'on s'approche davantage du minimum (305) (*z*¹).

302. 5° . Ce n'est pas seulement dans la zone des taches que la périodicité solaire se manifeste; on l'observe aussi 1° dans les autres zones photosphériques, dans les zones polaires par exemple, où Secchi vit aux époques du maximum ces calottes plus obscures formant alors quelque chose d'analogue à des zones polaires (291); 2° dans les protubérances et les facules, qui lors du maximum des taches ont aussi leur maximum, un maximum, qui cependant dure un peu plus longtemps (*a*); 3° dans le déplacement que tout comme les taches (299) les protubérances nous montrent lorsqu'aux différentes époques d'une même période on compare les latitudes où elles se développent le plus fortement (*b*); 4° dans les éléments de struc-

(*z*) Durant la période actuelle du retour au maximum le changement des taches en latitude a été clairement observé de nouveau. Marchand: *Compt. Rend.* 1 Février 1892: *Observ. des taches et des facules solaires faites à l'Obs. de Lyon pendant le 2^{me} Sém. de l'année 1891.* «les latitudes ont continué à diminuer progressivement: 55 groupes en effet sont compris entre les latit. $\pm 10^{\circ}$ et $\pm 20^{\circ}$, 41 entre $\pm 20^{\circ}$ et $\pm 30^{\circ}$ et seulement 2 entre $\pm 30^{\circ}$ et $\pm 40^{\circ}$; d'autre part, nous trouvons trois groupes dans la zone équatoriale de -10° à $+10^{\circ}$ ». — «The tendency for spots to form in high latitudes which was noticed towards the end of 1889 continued through 1890, the mean distance from the equator of all spots in 1890 being $21^{\circ},99$ as compared with $11^{\circ},61$ in 1889 and $7^{\circ},39$ in 1888.» *Monthly Not. Nov. 1891: Mean Areas and Heliogr. Latitudes of Sunspots in the year 1890, deduced from Photographs taken at Greenwich, at Dehra Dûn and in Mauritius communicated by the Astronomer Royal.*

(*z*¹) Lockyer: *Chem. of the Sun* p. 313—325. «At the min. period of sunspots when we know the solar atmosphere is quietest and coolest, vapours containing the lines of some of our terrestrial elements are present in sun-spots. The vapours, however, which produce the phenomena of sun-spots at the sun-spot max. are entirely unfamiliar to us" (loc. cit. p. 319)... «The most widened lines in sun-spots change with the sun-spot period. At and slightly after the min., the lines are chiefly known lines of the various metals. At and slightly after the max., the lines are chiefly of unknown origin" (ibid. p. 324).

(*a*) Secchi: *le Soleil II* p. 174.

(*b*) Lockyer: *Chemistry of the Sun* p. 419 fig. 124: Diagram summarising the

ture de la couronne, qui lors du maximum des taches tendent à produire l'aspect d'une étoile à quatre rayons (170—171).

303. Il résulte de cet aperçu des phénomènes périodiques solaires que *ces phénomènes ont à chaque latitude et à chaque niveau une périodicité différente* (299, 302 (2, 3)) et que, si l'on parle néanmoins d'une périodicité en général de l'activité solaire, cette périodicité n'a aucun rapport avec *une activité quelconque de la totalité de la masse solaire*, mais est uniquement causée par la *collaboration de toutes ces périodicités individuelles à phases différentes* (340—346), produisant ainsi dans le nombre total des taches un maximum lorsque leur *latitude moyenne* est de 16° environ.

304. La plupart des facules, des protubérances et des banderoles coronales étant toujours l'effet de taches préexistantes (127, 170, 291), il est donc clair que *lorsque la surface du soleil sera le plus riche en taches elle sera en même temps le plus riche aussi en toutes ces autres marques de son activité.*

305. Le changement que M. Lockyer a découvert dans le *spectre des taches* lorsqu'à l'approche du minimum elles montrent de plus en plus distinctement des raies bien connues de métaux terrestres (301) ne prouve aucunement que lors du minimum la température diminuerait (c). Ce changement s'explique tout d'abord comme

results of the Italian observations for the years 1881—83. — Secchi: le Soleil II p. 143 fig. 207 Courbes représentant le nombre des protubérances observées sur le bord solaire et distribuées selon les latitudes. — A. Ricco: Compt. Rend. 3 Août 1891. Les Variations périodiques en latitude des protubérances solaires obéissent, d'après M. Ricco, à «la même loi» que les taches.

(c) Lockyer: Chemistry of the Sun p. 319 — M. Young croit «qu'il y a un léger excès de probabilité en faveur de ceux qui disent que les années de maximum de taches sont d'un degré environ plus froides que les années de minimum» (le Soleil . 129). — «In 1870 Prof. Piazzi Smyth published the results of observations made from 1837 to 1869 with thermometers sunk in the rock at the R. Obs. Edinburgh. He concluded from these that a heat wave occurs about every eleven years, its maximum slightly lagging behind the minimum of the sunspot cycle. In 1871 Mr. E. I. Stone examined the temp. obs. recorded during 30 years at the Cape, and came to the conclusion that the same cause which leads to an excess of mean annual temp. at the Cape leads equally to a dissipation of sun-spots. Dr. W. Köppen in 1873 discussed at great length the connexion between sun-spots and terrestrial temp., and found that in the tropics the max. temp. occurs fully a year before the year of min. sun-spots; while in the zones beyond the tropics it occurs two years after the minimum. The regularity and magnitude of the temp. wave is most strongly marked in the tropics. The temp. evidence now given appears at first sight to be antagonistic to that derived from the other elements, both of magnetism and meteorologie, and to lead us to conclude that the sun heats us most when there are fewest spots on its surface, . . .» Balf. Stewart: Nature, June 16, 1881. — Umlauf: Das Luftmeer, 1891 p. 64, Sonnenfleckenperioden und Temperaturvariatio-

une conséquence nécessaire de la constitution que ma théorie prête au soleil (77—79). Il est l'effet tout simple de la *diminution en latitude de la zone des taches et du changement correspondant dans les couches que cette zone traverse* (75—83). Il suffit d'un regard sur la figure (77) pour comprendre tout de suite cette particularité capitale et pour comprendre aussi pourquoi c'est justement vers le minimum que les métaux apparaissent. Car les zones photosphériques à latitudes petites, où à l'approche du minimum les taches viennent se creuser, planent dans le renflement équatorial de la masse solaire et contiennent par conséquent des principes métalliques, qui en vertu de leur poids spécifique restent, aux latitudes plus élevées (où les principes inconnus des métalloïdes légers (144) sont plus abondants, ensevelis dans la profondeur (*d*). Cette explication du changement de spectre n'est pas seulement en concordance parfaite avec tout le reste de ma théorie, elle est aussi en harmonie complète avec les observations de M. Lockyer lui-même, qui *lui aussi* attribue le changement de spectre à un changement dans la latitude, et est disposé à admettre que *„des taches à spectres semblables ne peuvent se trouver que dans une même parallèle”* (*e*). En comparant 1^o la figure (*e*¹) où M. Lockyer a si clairement fait voir que de 1879 à 1880 il y eut soudainement l'apparition de raies nouvelles inconnues et 2^o le Tableau de M. Spoerer, donné plus haut (300), où l'on voit tout aussi clairement qu'en ces mêmes années les taches changeaient complètement aussi en latitude (Sur 26 taches en 1879, 24 avaient une latitude moyenne de 7^o, tandis que sur 105 taches en 1880 il y en

nen. — Ce résultat des observations répond très bien aux prévisions de ma théorie. Car quoique le soleil au minimum ne soit pas sensiblement plus chaud qu'au maximum, il doit émettre alors une chaleur plus grande. Car à l'époque du max. il y a jusqu'à $\frac{1}{500}$ de la surface totale du Soleil qui est couverte par des taches. Et ces taches émettent comme nous savons (46) beaucoup moins de chaleur qu'à temp. égale les nuages photosphériques qu'elles remplacent.

(*d*) Fowler: Nature, March 21, 1889; p. 493: „According to dr. Brester's view „of the solar economy, the photosphere must have a special composition in each „latitude, and since the latitude of the spots vary with the period, the spectra would „also vary with the period. The exact nature of the change — namely, from lines „of iron and other known substances at minimum to unknown lines at maximum is „not explained” Et en effet dans mon Essai précédent je n'avais pas encore donné mon Explication de la nature de ce changement spectral.

(*e*) Lockyer: Ghem. of the Sun p. 318: „It really does look as if the sudden „changes in the spectra noted from time to time may have been due to the fact „that the spots compared were spots varying very considerably in latitude, and it „would not surprise me to find that spots which are very like each other in their „spectra will be found to be situated more or less in the same degree of latitude.”

(*e*¹) Lockyer: loc. cit. p. 325.

avait 99 dont la latitude moyenne s'élevait à 21°): en comparant, dis-je, le changement de spectre observé par M. Lockyer avec le changement en latitude observé par M. Spoerer, on voit immédiatement que *ces deux changements simultanés sont précisément tels que ma théorie les prévoit.*

§ 2.

Explication de la périodicité des phénomènes solaires en général.

306. Nous n'avons guère à nous occuper ici des tentatives faites jusqu'aujourd'hui pour expliquer la périodicité solaire au moyen d'influences venant périodiquement du dehors. Toutes ces tentatives en effet ont complètement échoué. Car ni la position de Jupiter et des autres planètes (*f*), ni l'hypothèse d'essaims météoriques tombant par intervalles sur le soleil (*g*) ne sauraient rendre compte de la périodicité des taches et de leur apparition chaque fois en deux zones parallèles avec un minimum à l'équateur (*h*). L'irrégularité des époques des maxima et des minima (296) est aussi beaucoup trop grande pour pouvoir être produite par un mouvement orbital quelconque (*i*).

(*f*) Galilei : Opere t III p. 412. — Wolf : Mitth. VIII, XVIII. — Balf. Stewart : Edinb. Phil. Trans. XXIII p. 499. — Duponchel : Compt. Rend. XCIII p. 827, XCVI p. 1418. — Carrington : Obs. at Redhill p. 248 — Clerke : Gesch. d. Astr. p. 215. — Stewart : Nature 24 p. 150. — Wilsing : Astr. Nachr. N°. 3039, April 1891, p. 249 : „Die Versuche, die Häufigkeit der Sonnenflecke in Beziehung zu den „Stellungen der Planeten zu setzen, führen insofern zu keinem befriedigenden Resultate, als der für einzelne Epochen annähernd vorhandene Parallellismus zwischen den „Entfernungen der Planeten und der Fleckenzahl durch ebenso ausgedehnte Zeiträume „unterbrochen wird, in welchen keine Uebereinstimmung stattfindet, so dass die Coincidenzen nur als zufällige anzusehen sind. Auch ist die directe Einwirkung der „Planeten auf die Sonne eine zu geringe, als dass die gewaltigen mechanischen Vorgänge im Innern des Sonnenkörpers, welche durch die Sonnenflecke der Beobachtung „zugänglich werden, auf diese Weise verständlich werden könnten.“

(*g*) Sir John Herschel, Pierce et M. Lockyer ont émis l'idée que les taches seraient dues à la chute de météores sur le soleil. „D'après cela la périodicité des taches „s'expliquerait en supposant que ces météores se meuvent en décrivant une orbite „très allongée, dont la période serait de 11.1 ans, en y ajoutant cette hypothèse supplémentaire que dans une partie de l'orbite ils forment un groupe très dense, tandis „que dans les autres parties ils sont dispersés.“ Young : le Soleil p. 120.)

(*h*) Wolf : Compt. Rend. XCV p. 1249. — Clerke : Gesch. d. Astr. p. 215. — Young : le Soleil p. 120.

(*i*) Korteweg : Sitz. d. Kais. Ak. d. W. 1883 p. 1017 : „Ueberhaupt können keine „Perioden von scharf bestimmter und unveränderlicher Dauer in der Sonnenflecken- „häufigkeit vorhanden sein, denn sonst hätte die von Herrn Wolf benutzte Methode „sie aufdecken müssen. Und dieses negative Resultat ist vielleicht nicht ohne Wich.

307. On est donc généralement d'accord aujourd'hui que la cause de la périodicité solaire réside en premier lieu dans le soleil lui-même. M. Wilsing dans un Mémoire récent (*j*) cherche cette cause dans une contraction non symétrique de la masse solaire acquérant de la sorte un axe de symétrie non coïncidant avec son axe de rotation. De cette non-coïncidence il résulterait des phénomènes analogues à ceux qu'ont étudiés M. M. G. A. Darwin (*k*) et Schiaparelli (*l*). La matière intérieure mobile tendrait alors à rétablir la coïncidence des deux axes; mais cette tendance serait contrariée par la friction intérieure, qui causerait de la sorte des éruptions soudaines, lorsque tout à coup elle ne pourrait empêcher plus longtemps la coïncidence des deux axes. — Les taches et les protubérances seraient alors d'une manière quelconque les effets de ces éruptions soudaines.

308. Si 1^o un défaut quelconque de la symétrie dans le refroidissement du soleil (50) et 2^o un rôle prépondérant quelconque de la friction intérieure dans la formation des protubérances et des taches semblent déjà très difficiles à concevoir, l'hypothèse de M. Wilsing est aussi en contradiction avec les faits observés. Elle veut en effet, comme M. Wilsing le remarque lui-même, (*m*) que les éruptions se montrent le plus fortement à l'équateur. Or nous savons qu' à l'équateur elles ne se montrent que très peu.

309. D'après M. Young la périodicité dépendrait probablement de la constitution de la photosphère et de la vitesse avec laquelle le soleil perdrait sa chaleur. „Les faits consistent (dit-il (*n*)) en une accumula-

„tigkeit. Es stimmt nämlich viel besser mit der Hypothese, dass die Periodicität „einer der Sonne selbst inwohnenden Ursache zu verdanken ist, als mit der entgegengesetzten, dass äussere Einflüsse, wie Perihelstände, Conjunctionen und Oppositionen von Planeten, die Perioden sehr scharf bestimmter Länge besitzen, sie her„vorrufen sollten.“

(*j*) Wilsing: Astr. Nachr. N^o. 3039: Ueber das Rotationsgesetz der Sonne und über die Periodicität der Sonnenflecke.

(*k*) Darwin: Phil. Trans. 1877 Part. I: On the influence of geological Changes on the Earth's Axis of Rotation.

(*l*) Schiaparelli: De la Rotation de la Terre sous l'influence des actions Géologiques.

(*m*) Wilsing: loc. cit. p. 251 „Finden ferner die Reactionen vorzugsweise an den Stellen und in derjenigen Richtung statt, wo die bewegenden Kräfte ihr Maximum „erreichen, so hat man in der Nähe des Aequators die beträchtlichsten Wirkungen „zu erwarten.“

(*n*) Young: le Soleil p. 121. — B. Stewart: Nature 1881 p. 150. „There have „been two schools of speculators in this interesting region, consisting of those „who imagine a cause within the sun, and of those who imagine one without. The „former may be right, but apparently they cannot advance our knowledge much. We

„tion de forces intérieures pendant un temps de repos extérieur, „suivi d'une explosion, qui décharge la force intérieure; le repos et „les paroxysmes se reproduisent à des intervalles à peu près réguliers, simplement parce que les forces, les substances et les conditions dont il s'agit, ne changent que lentement avec le temps.”

310. *Ma théorie répond encore ici* (35, 96, 124, 152, 167, z, 202, 257 i etc.) *complètement aux prévisions de M. Young.* En faisant voir „quelles sont les forces intérieures, qui s'accumulent durant le temps de repos” et comment elles se déchargent à des intervalles à peu près réguliers” mon Principe II donne, ce me semble, à l'idée de M. Young le développement requis. C'est ce qu'on verra démontré de nouveau, j'espère, dans l'élucidation, que je vais donner maintenant de mon explication déjà donnée plus haut 57—74) de la périodicité dans les phénomènes solaires.

311. Cette périodicité ayant été déjà expliquée alors comme la conséquence nécessaire de la condensation moléculaire à laquelle le soleil doit le maintien de sa température et de sa tranquillité (50—55), maintenant que nous avons étudié depuis comment cette condensation moléculaire suffit pour rendre compte aussi de tous les phénomènes qu' à la surface du soleil nous voyons se succéder sans relâche, il ne sera pas superflu de profiter de cette étude pour arriver à une conception plus précise de la périodicité stellaire en général et de la périodicité solaire en particulier.

312. Pour bien comprendre la périodicité dans les phénomènes solaires il faut nous rappeler que l'unique cause de tous ces phénomènes est la condensation, que le refroidissement opère dans les molécules diverses que la gravitation a rassemblées dans les couches incandescentes du soleil (23—29).

313. Il faut nous rappeler ensuite que dans cet assemblage de molécules diverses ce ne sont pas les molécules à plus grande affinité, que nous nommerons A et B, qui nécessairement s'uniront le premier. Car quelque grande que soit cette affinité elle ne produira aucune combinaison chimique si les molécules, qu'elle anime sont trop petites en nombre et séparées par d'autres molécules, que j'ai nommées *intermédiaires* (61).

314. *Ce sera alors parmi ces molécules intermédiaires qu'une*

„know very little of the interior of the sun, and no one has yet ventured on any hypothesis regarding the modus operandi by which these strangely complicated and „roughly periodical surface phenomena may be supposed to be produced by the internal action of the sun itself.” Peut-être M. Stewart eût-il autrement parlé si quelque hypothèse analogue à la mienne avait été déjà formulée alors.

condensation chimique ou physique aura lieu. Mais comme ces molécules sont de même très différentes, il y aura là encore des molécules, que nous nommerons C et D, qu'une trop forte dilution empêchera de s'unir le premier, et qui dans le mélange $A + B + C + D + R$ demeureront inactives, alors que d'autres molécules plus nombreuses seront seules à entretenir par leur condensation la température du soleil.

315. Or, comme ces molécules R ne peuvent suffire à la tâche immense d'entretenir le feu solaire qu'en diminuant très rapidement en nombre, le moment viendra où elles ne pourront retenir plus longtemps les molécules C et D. Alors tout d'un coup (^{n¹}) et autant que possible ces molécules C et D s'uniront et elles causeront de la sorte une *éruption de chaleur*, qui, incapable de causer un rehaussement notable de la température (65) sera absorbée dans la disgrégation (c'est-à-dire l'évaporation ou la dissociation) des molécules R, qui viennent de se condenser, et remettra ces molécules dans l'état où nous les avons vues d'abord, c'est-à-dire dans l'état où il n'y a qu'elles, qui entretiennent le feu solaire et préparent par leur condensation recommencée une éruption de chaleur, qui les disgrégera de nouveau.

316. Ce sont des *éruptions de chaleur* pareilles, qui dans l'atmosphère solaire allument les protubérances, qui dans les nuages photosphériques creusent les taches, et qui aussi, tout partout dans l'enveloppe solaire nous montrent la condensation intermittente nuageuse des molécules R, là où ces lueurs blanches se produisent, que nous avons étudiées plus haut (111—118, 263), et dont je ne rappellerai ici que les banderolles coronales, les protubérances blanches de Tacchini et les facules précurseurs (239).

317. Or comme toute éruption de chaleur cause une diminu-

(^{n¹}) Si les molécules intermédiaires R ne se condensent que petit à petit, alors les molécules C et D, qu'elles séparent, pourraient profiter peut-être de cette lente diminution des molécules R pour se combiner aussi petit à petit. Et leur degré de surdissociation diminuant ainsi graduellement à mesure que les molécules R viendraient à diminuer en nombre, il n'y aurait pas nécessairement alors de raison pourquoi les molécules C et D produiraient *tout d'un coup* quelque éruption de chaleur notable. Mais si (comme il est infiniment plus compréhensible) le travail immense de l'entretien du feu solaire demande, surtout dans les couches extérieures du soleil, une *condensation excessivement hâtée des molécules R*, alors on ne voit pas du tout que les molécules surdissociées C et D doivent nécessairement répondre tout de suite et complètement par une combinaison continue (62) à une condensation aussi hâtée. Leur degré de surdissociation n'éprouvera pas en ce cas la diminution graduelle, dont nous venons de parler, et la disparition rapide des molécules R aboutira nécessairement alors à une éruption de chaleur (324).

tion dans le nombre des molécules, qui l'ont produite (65), les molécules C et D doivent toujours diminuer en nombre et cesser à la longue de produire des éruptions de chaleur. La durée de leur existence active ne dépendra pas seulement de leur quantité primitive, mais surtout aussi de leur affinité, c'est-à-dire de la quantité d'énergie dont à chaque éruption elles disposent pour disgréger de nouveau les molécules R condensées. Car à mesure qu'une éruption de chaleur sera plus forte, elle détruira un plus grand nombre de molécules condensées et reculera d'autant plus le moment où, ces molécules condensées étant restaurées, une éruption nouvelle aura lieu.

318. Qu'arrivera-t-il maintenant lorsqu'après un temps plus ou moins long, qui durera des années peut-être, les molécules C et D auront été épuisées et ne pourront empêcher plus longtemps la condensation continue des molécules R? Ces molécules R, qui jusqu'à présent ne pouvaient se condenser sans causer au bout d'un certain temps une éruption de chaleur les disgrégeant de nouveau, cesseront-elles alors ce travail de Sisyphe et se reposeront-elles enfin en se condensant pour toujours?

319. Nous savons qu'il n'en est rien. Car nous nous rappelons que les molécules C et D étant toutes combinées, il y a encore les molécules A et B, qui n'attendent que la condensation suffisante des molécules R + C D pour se combiner de même. Or, comme depuis l'épuisement des molécules C et D cette condensation ne rencontre plus d'obstacle, le moment doit venir où par la combinaison des molécules A et B une nouvelle éruption de chaleur aura lieu. Une nouvelle disgrégation des molécules R condensées en sera alors le premier effet sans doute. Ici cependant il faut bien distinguer :

320. Si l'affinité des molécules A et B est à peu près égale à celle des molécules C et D déjà combinées auparavant, alors la série commençant maintenant des combinaisons intermittentes des molécules A et B ne produira aucun changement important dans la marche des phénomènes, et les molécules, qui tantôt se disgrégeaient toujours de nouveau à chaque production de molécules C D nouvelles, le feront maintenant à chaque production nouvelle de molécules A B.

321. Mais si ces molécules A et B ont une affinité beaucoup plus grande, alors l'éruption de chaleur, qu'elle engendre, ne disgrégera pas seulement les molécules R condensées, mais elle dissociera en outre les molécules C D nouvellement formées, et rendra par conséquent à la couche solaire autant que possible (323) la composition chimique $A + B + C + D + R$ qu'elle avait lorsque nous l'avons considérée d'abord (313).

322. Cette composition chimique étant alors restaurée, et le refroidissement continuant toujours, toutes les éruptions de chaleur, que nous avons déjà décrites tantôt, se produiront de nouveau. Or, comme ce sont ces éruptions de chaleur, qui causent les protubérances et les taches, la périodicité de ces phénomènes dans chaque couche solaire est expliquée en même temps.

323. Il va sans dire du reste qu'après chaque éruption de chaleur que les molécules A et B produisent, le nombre de ces molécules aura diminué un peu (65), et que, si c'est à l'énergie potentielle disparue de ces molécules maintenant réunies que les rayons solaires doivent en somme la conservation de leur énergie cinétique, cette énergie potentielle disparue constitue pour le soleil une perte réelle, qui doit fatalement aboutir à son extinction (o) (351).

324. Si l'on a pu dire que mon explication de la périodicité solaire était difficile à comprendre (p) c'était probablement parce que dans mon Essai précédent je n'avais pas encore réussi à rendre complètement ma pensée. Cette lacune n'existe plus dans mes explications d'aujourd'hui (57—74, 312—323), qui auront démontré, j'espère, que *des mélanges incandescents de molécules combinables, comme celles qui forment les différentes couches du soleil, doivent généralement, en se refroidissant se condenser périodiquement, et ne montreront une condensation continue que dans le cas unique, où le hasard aurait voulu que toutes les molécules à affinité plus grande fussent aussi plus nombreuses et se combinassent par conséquent successivement dans l'ordre de leur affinité. Mais dans des mélanges*

(o) Les phénomènes, qui accompagnent l'extinction des astres et qui, comme dans les *étoiles temporaires* et la plupart des *étoiles variables*, montrent si clairement l'effet d'éruptions de chaleur déchirant par moments les voiles nuageux opaques, dont, d'après ma théorie, les noyaux encore brillants de ces étoiles sont déjà enveloppés seront étudiés dans la 2^{me} Partie de ma Théorie. Je les ai déjà expliqués succinctement plus haut (71—72) et plus longuement dans mon Essai d'une Théorie du Soleil et des Étoiles variables (p. 6—19). Leur mécanisme est le même que celui des taches solaires. Mais sur notre soleil encore resplendissant ce sont des nuages lumineux, que les éruptions de chaleur perforent, tandis que sur les soleils, qui s'éteignent ce sont des nuages extérieurs obscurcissants, où ces éruptions de chaleur creusent des trous (68).

(p) A. Fowler: Nature, March 21, 1889 p. 493. -- Quoique M. Fowler trouve mon explication difficile à comprendre, il en a cependant très bien saisi l'idée principale. Il s'exprime ainsi: „Dr. Brester also attempts to explain the cause of the eleven-yearly period, but his explanation is difficult to follow. Broadly speaking his idea is that during eleven years the integrated effects of the various chemical combinations which have taken place are such as to very nearly restore the conditions which had existed at the commencement of the period. Slight differences would be produced each time, so that after a long interval well marked differences might be expected”.

aussi compliqués, que sont les couches dissociées stellaires, un pareil hasard ne se présentera que rarement (72 z). Mon explication veut d'ailleurs, qu'on comprenne bien que la condensation des molécules intermédiaires R s'opère toujours à grande vitesse, et tellement vite que les molécules qu'elles séparent n'aient pas le temps d'y répondre par une combinaison continue (65, 315 n¹). Or une telle vitesse se conçoit aisément, dès que nous y réfléchissons que c'est surtout cette condensation toujours recommençante des molécules R qui entretient la température solaire. Comment les molécules R suffiraient-elles à cette tâche immense si elles ne se condensaient que tout doucement!

325. Je dois faire observer encore qu'il y a des savants éminents, qui, quoique disposés à admettre que des molécules R intermédiaires puissent causer des phénomènes de surdissociation aboutissant à des éruptions intermittentes de chaleur, comme celles qui d'après ma théorie produisent les protubérances, refusent cependant d'admettre que ces éruptions intermittentes puissent être séparées par des intervalles de plusieurs années. Mais ils n'ont pas suffisamment motivé ce refus. Car si des molécules A et B fortement séparées par des molécules R facilement condensables peuvent produire des éruptions de chaleur, on ne voit pas qu'il soit moins possible que parmi ces molécules R il y ait des molécules C et D, C¹ et D¹, etc., fortement séparées de même (324, 335), produisant elles aussi leurs éruptions de chaleur respectives et reculant ainsi les époques des éruptions de chaleur plus fortes, qu'engendrent les molécules A et B. Si cette intervention des molécules C et D, que j'ai déjà indiquée dans ma théorie des Etoiles variables (g) comme la cause probable des maxima secondaires dans les étoiles du type de Bêta Lyrae, peut être considérée avec raison comme un „expédient facile” on aurait tort d'en faire à ma théorie un reproche. Il me semble au contraire que, si les deux mêmes Principes, qui nous ont conduits déjà à l'explication des phénomènes divers, qu'à toute époque nous montre la surface solaire, paraissent expliquer également 1^o „quelles sont les forces intérieures, qui, d'après M. Young, s'accablent durant le temps de repos, et 2^o comment ces forces se déchargent à des intervalles à peu près réguliers” (309), cela donne à ma théorie un cachet de vérité, qu'elle n'aurait pas si elle abondait en „expédients plus variés et plus compliqués.”

326. Remarquons en passant que ce n'est pas seulement parmi les gaz dissociés stellaires, mais aussi parmi les gaz dissociés terres-

(g) Essai d'une Explic. Chimique des principaux Phénomènes lumineux stellaires p. 10, 1888. — Essai d'une Théorie du Soleil et des Etoiles Variables p. 14.

tres, qu'il peut y en avoir, qui en se refroidissant se déferont de leur énergie chimique à la manière périodique du soleil et des étoiles variables. En constatant dans nos laboratoires la périodicité dans un cas pareil on donnerait donc à ma théorie en quelque sorte un appui expérimental.

327. C'est ce qu'ont fait M. M. v. Oettingen et v. Gernet en démontrant que *l'explosion du gaz tonnant est intermittente (r)*. Cette intermittence avait été déjà prévue par M. Bunsen, qui l'avait déduite du calcul de la température maxima du gaz enflammé, calcul, dont il s'était procuré les données en mesurant la pression du gaz enflammé au moyen d'un eudiomètre à soupape (s). Cette température maxima calculée à 2844° ne correspondant qu'à la combustion d'un tiers seulement du mélange, aux températures moins élevées subséquentes, le reste brûlerait par moitié. M. M. Berthelot et Vielle (t) cependant avaient contesté la justesse de ce calcul, qui, quoique correspondant assez bien avec les résultats qu'avaient obtenus M. M. Deville et Debray (u) ne semblait en concordance non plus avec les expériences de M. M. Mallard et Le Chatelier (v). Mais les expériences de M. M. v. Oettingen et v. Gernet, qui démontrèrent photographiquement au moyen d'un miroir tournant que l'explosion du gaz tonnant dans l'eudiomètre, bien que ne durant qu'un millième de seconde (w) est bien réellement intermittente, ont donné raison aux prévisions de M. Bunsen.

328. Il est clair d'ailleurs que *notre astre du jour n'est en somme qu'une bulle immense de gaz tonnant enflammé*. Si cette bulle dure des millions de siècles, tandis que le gaz tonnant enflammé dans nos laboratoires ne dure qu'un instant, c'est uniquement parce que les principes élémentaires mélangés ne pouvant se combiner qu'au fur et à mesure que le refroidissement le permet, ce refroidissement

(r) A. v. Oettingen und A. v. Gernet: Ann. d. Phys. u. Chemie, Neue Folge 33 p. 586 (1888): Ueber Knalgasexplosion.

(s) R. Bunsen: Pogg. Ann. 131 p. 161 (1867): Ueber die Temp. der Flammen des Kohlenoxyds und Wasserstofs.

(t) Berthelot et Vielle: Ann. de Chimie et de Phys. (5) 12 p. 302 (1877); (6) 4 p. 13 (1885).

(u) H. Debray: Wurtz, Dict. de Chimie I p. 1180.

(v) Mallard et Le Chatelier: Compt. Rend. 93 p. 145; 95 p. 599, 1352; 96 p. 1014 (1883) Ann. des Mines (8) 4 p. 272 (1883).

(w) v. Oettingen und v. Gernet: loc. cit. p. 605. D'après M. Bunsen (loc. cit. p. 166) l'explosion du gaz tonnant dure jusqu'à $\frac{1}{65}$ de seconde. — Il est évident d'ailleurs que, puisque l'oxygène et l'hydrogène ne se combinent qu'au fur et à mesure que le refroidissement le permet, l'explosion durera d'autant plus longtemps que le refroidissement sera moins facile.

requis dure dans notre astre du jour des millions de siècles, tandis que dans les petites masses de gaz tonnant à superficie refroidissante relativement infiniment plus grande il est pour ainsi dire instantané.

329. Les bulles de gaz tonnant terrestres ne diffèrent essentiellement des bulles de gaz célestes que parce que les premières ayant une paroi repoussant sans cesse pêle-mêle les molécules qu'elle renferme, conservent toujours une structure homogène, tandis que les bulles de gaz tonnant célestes n'ayant pas de paroi pareille, et n'ayant d'autre frein pour arrêter le mouvement centrifuge des molécules que la gravitation seulement, ont leurs molécules les plus légères le plus loin du centre et montrent par conséquent la structure stratifiée, que nous avons étudiée en établissant notre Principe I (28).

330. Quoique l'absence de cette structure stratifiée dans les gaz tonnants enflammés terrestres, leur emprisonnement, leur composition spéciale, notamment l'absence en général de molécules intermédiaires R condensables à la température même de l'explosion et surtout aussi la rapidité de leur refroidissement (w^1) doivent donner à leur combustion une marche toute autre que celle que, d'après mon Principe II, nous observons dans les gaz tonnants célestes, il est cependant très probable que les phénomènes périodiques, que M. M. Bunsen, v. Oettingen et v. Gernet ont prévus et constatés dans l'explosion des petites quantités de gaz tonnant, que renfermaient leurs eudiomètres, sont du même ordre que ceux, qui se manifestant dans les astres sur une échelle autrement grandiose, sont aussi la cause de la périodicité dans les phénomènes solaires.

§ 3.

Explication de la périodicité de quelques phénomènes solaires en particulier.

331. Ce sont surtout les phénomènes photosphériques que nous examinerons. Car ces phénomènes sont beaucoup plus indépendants des phénomènes chromosphériques et coronaux qu' inversement (127,

(w^1) C'est surtout la lenteur extrême de l'abaissement de la température des masses immenses célestes (48, 62, etc.) qu'on ne réalisera jamais dans nos expériences de laboratoire. Or comme c'est justement cette lenteur qui, de concert avec la vitesse de la condensation des molécules R dans les couches extérieures (315 n¹), est indispensable pour faire bien fonctionner le frein (53, 63, 65) qui maintient la masse incandescente en repos, il est clair qu'on ne reproduira jamais complètement ici-bas les phénomènes chimiques, que nous présentent les astres. Il en est du *perpetuum immobile* de ma théorie (8) comme du *perpetuum mobile* de la Mécanique. Tous deux ne sont possibles que dans le Ciel.

170, 172, 291). *Nous ferons bien en outre de commencer notre examen à la latitude de 11°; car la formation des taches rencontrant là le moins d'obstacles (278—287), c'est là aussi que la photosphère réagit le plus sûrement sur les moindres éruptions de chaleur.*

332. Si la zone photosphérique à 11° est, à quelques années d'intervalle tantôt riche en taches et tantôt bien pauvre, c'est parce que durant le maximum elle produit des éruptions de chaleur énergiques la trouant fortement, tandis que durant le minimum ces éruptions font défaut ou ne sont pas assez fortes pour creuser beaucoup de trous notables. Cette zone se comporte donc exactement comme ma théorie le prévoit (312—322). Cela paraîtra plus évident encore si nous entrons dans quelques détails.

333. Tant que dans le gaz photosphérique les molécules R sont encore très nombreuses, il faut aux molécules C et D (314) un concours exceptionnel de circonstances favorables fortuites pour pouvoir produire une éruption de chaleur notable. C'est alors l'époque des éruptions de chaleur rares et des taches clair-semées. *C'est l'époque du minimum.* Mais lorsqu'après la condensation longtemps prolongée de ces molécules R (qui se sont ajoutées à la nappe nuageuse photosphérique), les molécules C et D, trop fortement diluées d'abord, cessent d'être suffisamment séparées et commencent résolument à se combiner à leur tour, alors l'époque des éruptions de chaleur incessantes arrive, l'époque des taches nombreuses. *C'est l'époque du maximum.*

334. Les taches, qui maintenant apparaissent dans la zone, s'y effacent et s'y reproduisent chaque fois de nouveau, nous montrent les décharges intermittentes de l'énergie chimique accumulée des molécules C et D. C'est, dit Carrington (x), „comme si un nuage invisible planant au dessus de la photosphère ou bien un volcan caché au dessous déchirerait et déplaceraient les nuages photosphériques au moyen de décharges quelquefois intermittentes”. Mais les décharges intermittentes, dont parle Carrington, ne viennent ni du dessus ni du dessous; elles naissent dans la photosphère elle-même et y éclatent toutes les fois qu'une partie des molécules C et D accumulées durant le minimum s'y combine, la chaleur produite

(x) Carrington : *Observ. of Solar Spots* p. 176 „the source of energy, which leads to the formation of a spot or group is not always exhausted on the disappearance of the group; that corresponding to the visible spot there is an invisible overhanging cloud or underlying volcano, the discharge of which rupturing or displacing the photosphere is sometimes intermittent” — Lockyer : *Chemistry of the Sun* p. 431. — De la Lande, Cassini et Secchi ont fait des observations analogues: Secchi: *le Soleil I* p. 98, 99.

creusant alors des taches en évaporant et déplaçant la matière condensée.

335. Mais les molécules C et D à force de se décharger de la sorte perdent en se combinant l'énergie qu'elles avaient. D'autres molécules C' et D', C'' et D'' etc. les remplaceront peut-être (320). Mais celles-ci encore s'épuiseront à leur tour. On verrait ainsi toujours des taches nouvelles se succéder sans relâche, et l'on attendrait en vain le retour d'un minimum périodique, s'il n'y avait dans la couche solaire des molécules A et B à affinité plus forte, qui n'attendent que la condensation et l'effacement rapide des molécules les séparant encore pour produire à leur tour leurs décharges chimiques.

336. Ces éruptions de chaleur nouvelles, bien que beaucoup plus énergiques que celles qu'ont produites tantôt les molécules C et D, C' et D' etc. ne se manifesteront pas nécessairement comme telles par la grandeur des taches qu'on les verra creuser. La grandeur des taches dépend surtout de l'agrégation accidentelle de la matière environnante (276). Si d'ailleurs la moindre énergie des molécules C et D suffisait déjà à perforer la nappe photosphérique, on ne voit pas ce que sous ce rapport une énergie plus forte ferait autrement. Mais ce qu'on voit bien c'est que cette énergie plus grande, dès qu'elle ne trouvera plus d'autres molécules R à évaporer, détruira les molécules CD, C' D', etc. nouvellement formées (321) et restaurera ainsi autant que possible à l'endroit considéré la composition chimique, qui y existait au minimum précédent (333). (y)

337. Bien que tous les changements moléculaires décrits s'accomplissent dans toute zone photosphérique sans changement notable de la température, ils ne s'accomplissent cependant que sous l'influence

(y) Si la matière CD se formant et se détruisant tour à tour était une substance ayant quelque influence sur l'aiguille aimantée, le rapport découvert par Lamont entre les taches du soleil et l'amplitude moyenne de l'oscillation diurne de cette aiguille se comprendrait plus ou moins. — Remarquons à ce propos que si la corrélation de ce phénomène magnétique avec la marche de la périodicité undécennale solaire semble complètement évidente, il n'est nullement prouvé que ce soient précisément les taches qui aient ici quelque influence directe. «A l'égard de la question des rapports entre les phénomènes de taches solaires et les perturbations magnétiques», M. Janssen par exemple «ne voit dans les faits constatés jusqu'ici rien qui autorise encore à admettre cette corrélation» (Compt. Rend. Sur une tache solaire observée à l'Observ. de Meudon du 5 au 7 Février 1892. Note de M. J. Janssen). Les observations récentes de M. Spoerer ont abouti aussi au même résultat négatif. «In the Meteorological Society of Berlin Prof. Spoerer spoke on the recent magnetic storm of April 25, 1892, for which, as also for the great storms of February 13 and 14, he had been unable to discover any corresponding phenomena in the sun-spots at the same dates» (Nature, June 2, 1892).

d'une perte continue de chaleur. Or comme la chaleur (latente et libre) de cette couche lui vient aussi en premier lieu uniformément du centre, cette couche tendra toujours à présenter en tous ses points une même composition moléculaire; et cela surtout parce que toutes les fois qu'il y aura eu quelque part un excès de refroidissement local, cette période de refroidissement local trop rapide sera toujours nécessairement suivie d'une période de refroidissement local trop lent. Car dès que l'éruption de chaleur, que le refroidissement trop grand aura produite, aura évaporé la matière condensée, cette matière n'y pourra activer plus longtemps le refroidissement au moyen de son grand pouvoir émissif (46, 234).

338. Mais il y a encore une autre cause bien plus directe de l'égalité en composition chimique, et en phase par conséquent, dans tous les points d'une même parallèle photosphérique. *C'est la différence en vitesse des différentes couches photosphériques superposées (242, 269), qui poussant les nuages photosphériques à travers les couches refroidissantes tend à effacer dans ces couches toute différence locale de composition.* Cette différence en vitesse étant aux latitudes peu différentes de 11° moins considérable qu'ailleurs, y montrera aussi moins qu'ailleurs cette influence régulatrice; et si la périodicité entre les parallèles de 15° et l'équateur présente, comme nous le verrons tantôt (342) un caractère moins prononcé qu'aux latitudes plus élevées, c'est en partie peut-être à la cause indiquée, que nous devons l'attribuer.

339. *Examinons maintenant quelle sera la marche des phénomènes aux latitudes et aux niveaux autres que ceux de la photosphère à 11° .* Il est évident tout d'abord que dans tous ces autres endroits les phénomènes auront bien une marche plus ou moins analogue, mais différente cependant sous bien des rapports: Rappelons nous en effet que si toute couche solaire nous montre une répétition périodique des mêmes phénomènes, c'est parce que ses molécules $A + B + C + D + R$ disgrégées (314) ne peuvent se condenser que temporairement et reprennent après l'état disgrégé, qu'elles avaient d'abord. Rappelons nous aussi que la durée et le caractère de cette période ne dépendront que de la composition chimique de la couche et du refroidissement auquel cette couche est exposée (273—275). Or, comme d'après toutes les observations, qui nous ont guidés dans notre premier chapitre, ces deux circonstances ne peuvent être les mêmes qu'en deux parallèles à distance égale des deux côtés de l'équateur et situées en outre dans le même niveau, il est donc évident qu'à chaque latitude et à chaque niveau la masse solaire aura une périodicité différente.

340. Voilà une déduction de ma théorie que *tous les faits observés* confirment parfaitement. Ces faits déjà sommairement indiqués plus haut (299, 300, 302, 303) démontrent en effet que le soleil, au lieu de montrer jamais un maximum simultané d'activité dans toutes ses parties „porte au contraire (comme le dit „Secchi (z)) son maximum d'activité tantôt dans une région, tantôt dans „une autre”. Lorsqu'à une latitude moyenne de 16° le maximum des taches se développe et y prend le caractère exceptionnel déjà expliqué plus haut (303, 304), avec son cortège de facules, de protubérances éruptives et de banderoles coronales, le maximum d'activité solaire est cependant tout local.

341. Il suffit pour s'en convaincre de consulter les tables intéressantes où M. Spoerer a mis en regard la fréquence des taches et leurs latitudes individuelles durant les dix époques successives qu'il a distinguées dans toute période undécennale (a). Ces tables démontrent clairement que lorsque le maximum d'énergie se montre à 16° , le maximum d'activité à 30° a déjà eu lieu 2 ans plus tôt, tandis que celui à 5° n'aura lieu que 2 à 3 ans plus tard. Elles montrent en outre que les oscillations dans les différentes activités locales ne diffèrent pas seulement en phase, mais aussi en amplitude et en durée; et font voir de même qu'avec la latitude il y a le changement que voici dans la

DURÉE MOYENNE DE L'ABSENCE ASSIDUE DE TACHES.

| Zones. | Fraction de la durée de la période undécennale entière. |
|--------|---|
| 0—5 | 0.0 |
| 5—10 | 0.0 |
| 10—15 | 0.0 |
| 15—20 | 0.1 |
| 20—25 | 0.2 |
| 25—30 | 0.3 |
| 30—35 | 0.4 |
| 35—40 | 0.5 |

(z) Secchi : le Soleil II p. 145.

(a) Spoerer : Publ. d. Astrophysik. Obs. zu Potsdam IV, 4 p. 411—415. Sonnenfleckenbeobachtungen in den Jahren 1880—1884.

342. Il résulte de ce Tableau que les zones de 0° à 5° , de 5° à 10° et de 10° à 15° , dont la première cependant ne produit qu'un nombre bien petit de taches (271), ne présentent jamais dans leurs périodes un dixième de temps consécutif entièrement exempt de taches. Elles se caractérisent par conséquent par des maxima et des minima beaucoup moins prononcés que ceux qui, dans la zone de 35° à 40° par exemple, se manifestent par 5 à 6 années consécutives de l'état immaculé. Si nous avons déjà cherché plus haut (338) à expliquer cette particularité, elle dépendra d'autres circonstances encore (279—288, 345), et nécessairement aussi de la différence en composition chimique des différentes zones photosphériques, différence, qui d'après ma théorie doit exister (83) et existe en effet d'après les observations de M. Lockyer (b) (305).

343. Cette différence en composition chimique et en constitution mécanique rendra compte aussi de la différence, qu'on a observée dans la *durée totale des différentes périodes partielles*, durée, qui de 11 ans par exemple dans la photosphère à 16° est d'après les courbes de M. Spoerer (c) un peu plus courte à 30° et un peu plus longue à 5° . Elle expliquera aussi certaines particularités dans la périodicité des protubérances et des facules. Car si ces deux phénomènes doivent nous montrer (127, 237) une périodicité ressemblant beaucoup à celle des taches, leurs périodes ont cependant des durées un peu différentes (d), le maximum des protubérances durant en général plus longtemps (e). Et les protubérances quiescentes, hors des „zones royales des taches” montrent en outre, dit Secchi (f) : „des fluctuations qui nous sont familières, mais dont la cause est encore un mystère”.

(b) Lockyer : Chem. of the Sun p. 318.

(c) Lockyer : loc. cit. fig. 130.

(d) Ricco : l'Astronomie t. III. p. 292.

(e) Clerke : Gesch. d. Astr. 1889 p. 255.

(f) Secchi : le Soleil II p. 145. „Le maximum principal de fréquence des protubérances correspond à la région des facules et des taches; le minimum secondaire, „situé dans les régions équatoriales, tombe dans la partie du disque qui sépare les „zones royales des taches et des facules. Les maxima secondaires correspondent aux „limites des granulations que l'on a vues autour des pôles aux époques de plus „grande activité. Cette apparition n'est pas constante : elles disparurent en 1873, et „avec elles les protubérances. C'est dans cette même région que la couronne est „plus élevée, ainsi qu'on l'a constaté pendant les éclipses. Dans la IX^e et la XI^e „rotation, nous voyons reparaître les protubérances polaires, mais elles durent très „peu : c'est une de ces fluctuations à courte période, qui nous sont familières, mais „dont la cause est encore un mystère”.

344. Pour quiconque voit avec moi dans le jeu des protubérances celui des agrégations et des disagrégations successives que produisent tour à tour le refroidissement et le rechauffement, que ce refroidissement engendre dans les molécules $A + B + C + D + R$, dont se composent différemment les couches stratifiées du soleil, les fluctuations, dont parle Secchi, ne sont pas mystérieuses ; elles sont au contraire un phénomène prévu dans l'économie solaire.

345. Ces fluctuations dans le développement des protubérances auront d'ailleurs leur contre-coup dans le développement des taches. Car les protubérances dans les couches extérieures ne peuvent être sans influence sur le refroidissement dans les couches plus profondes. Elles contribueront ainsi à donner à toute périodicité locale un caractère spécial (343). Ce n'est du reste qu'aux latitudes peu élevées que l'énergie, qui produit les taches, se montre tout à coup, mais s'éteint peu à peu (298). Les tables de M. Spoerer (*g*) montrent clairement qu'aux latitudes plus élevées c'est très souvent le contraire qui a lieu.

346. L'action réciproque des taches, des protubérances et des banderolles coronales, se formant toutes dans des couches à périodicité et à vitesse angulaire différentes, causera du reste *dans toute période une marche spéciale des phénomènes* (276). C'est elle qui réglant les décharges des molécules surdissociées A et B leur fera épuiser leur énergie tantôt vite en favorisant leur combinaison, tantôt lentement en la modérant (297). C'est elle par conséquent, qui donnera aux phénomènes solaires ce caractère capricieux qui, peu compatible avec l'hypothèse que la périodicité du soleil dépendrait (d'une manière entièrement inconnue d'ailleurs) des mouvements orbitaires de ses satellites (306) est en concordance parfaite avec les causes internes que ma théorie fait connaître. Et en effet, si ma théorie est vraie, les oscillations qu'elle prévoit dans la périodicité de l'activité solaire doivent être plus ou moins capricieuses, *et il sera tout aussi difficile de rendre compte chaque fois de tous les détails d'une oscillation quelconque qu'il ne l'est pour la théorie des marées d'expliquer chaque vague en particulier, qu'on observe dans les brisants.*

§ 4.

Explication des changements séculaires dans la périodicité des phénomènes solaires.

347. Si ma théorie contient encore mainte explication à peine ébauchée, encore incertaine ou même complètement à refaire, c'est

(*g*) Spoerer : loc. cit. p. 411—415.

surtout dans le Chapitre qui traite de la périodicité dans les phénomènes solaires que cette lacune se fera remarquer. Car tandis que dans les Chapitres précédents l'accord entre l'observation astronomique et les prévisions de ma théorie était souvent facile à faire ressortir *dans mon chapitre de la périodicité solaire cet accord ne s'élucide que rarement (170, 175, 305) tout aussi directement.* La périodicité solaire répond bien en général aux prévisions de ma théorie, mais ces prévisions ne paraissent guère conduire ici à quelque valeur numérique précise, que l'observation astronomique pourrait contrôler. Et en effet il faudrait connaître exactement la composition quantitative, la température, la pression des différentes couches solaires et les quantités de chaleur, qu'à tout moment elles émettent et qu'y développent incessamment les condensations physique, chimique et mécanique (55) de la matière, pour pouvoir expliquer par exemple 1° pourquoi la durée de la périodicité de chaque couche déterminée est précisément celle qu'on observe, 2° pourquoi le nombre des taches y atteint une valeur moyenne déterminée, 3° pourquoi les taches à chaque maximum nouveau réapparaissent chaque fois aux latitudes plus élevées (300 z), etc. Mais de toutes ces circonstances, qu'il faudrait connaître pour pouvoir tâcher d'expliquer ces particularités importantes, nous ne savons encore que bien peu.

348. Mais si nous n'en savons encore que bien peu, ma théorie prévoit cependant que ces circonstances doivent nécessairement se modifier avec le temps et que par conséquent *les particularités, que je viens de rappeler, quelque importantes qu'elles paraissent, ne sont pourtant que temporaires et accidentelles.* Or voilà une prévision importante, que les recherches de M. Spörer ont clairement confirmée (h).

349. *Si maintenant les taches réapparaissent à chaque maximum nouveau aux latitudes les plus élevées, M. Spörer a prouvé que cela n'a pas toujours été ainsi.* Durant le 17^{me} et le commencement du 18^{me} siècle la marche des phénomènes était une toute autre. Les taches ne réapparaissaient pas alors aux latitudes les

(A) Spörer: Vierteljahrsschrift der Astr. Gesellsch. Bd. 22 Heft 4 (1887) Ueber die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben und Hinweis auf eine erhebliche Störung dieser Periodicität während eines langen Zeitraumes p. 323—329. — Indépendamment de toute explication il est clair en tout cas que, si les courbes de M. Spörer (343) sont justes, si par conséquent la périodicité actuelle des taches n'a pas à chaque latitude une durée absolument égale, cette inégalité doit causer à la longue une marche nouvelle dans les phénomènes undécennaux.

plus élevées (i); et les taches étaient alors aussi beaucoup moins nombreuses: „Depuis 1650 jusqu'en 1670 (dit Lalande (j)) „il n'y „a pas de mémoire qu'on ait pu trouver plus d'une ou de deux „taches, qui furent observées fort peu de temps". A propos d'une tache découverte en 1671 Picard observe (k): „Je fus d'autant plus „aise d'avoir découvert cette tache du soleil, qu'il y avait dix ans „entiers que je n'en avais pu voir aucune, quelque soin que j'eusse „eu d'y prendre garde de temps en temps". Maraldi en 1704 fit la communication suivante (l): „On voit présentement deux amas „de taches dans le soleil, dont l'un est proche du bord occidental, „près de disparaître. Il y a longtemps qu'on n'a point vu dans le „soleil en même temps de taches si éloignées les unes des autres, „car pour l'ordinaire on n'en voit qu'à un endroit (m).

350. Ma théorie fait facilement comprendre pourquoi depuis deux siècles la marche des phénomènes solaires s'est sensiblement modifiée. Cette modification résulte tout simplement du changement qu'à la longue le refroidissement doit produire dans la composition chimique des couches extérieures du soleil. Car bien qu'à chaque minimum nouveau cette composition chimique (A + B + C + D + R) se restaure autant que possible (65, 323), le travail immense de cette restauration ne pourra être opéré chaque fois que par le sacrifice de l'énergie d'une partie des molécules A et B encore séparées au mi-

(i) Spoerer: loc. cit. p. 324: „Um so mehr ist es merkwürdig, dass in einem sehr „langen Zeitraume, nämlich in der zweiten Hälfte des 17 bis zum Anfange des „18 Jahrhunderts, wesentlich andere Verhältnisse geherrscht zu haben scheinen. . . . „Vom November 1700 an fand wieder Zunahme der Fleckenzahl statt, aber die „Flecke traten nicht in höheren Breiten auf".

(j) Wolf: Mittheilungen V p. 116. — „Es scheint aber nicht, dass man in dieser „Zeit zu wenig auf Flecke geachtet habe, und dass nur deshalb so spärliche Anga- „ben vorliegen, sondern es ist eher anzunehmen, dass wirklich nur wenige Flecke „vorhanden waren". Spoerer: loc. cit. p. 326.

(k) Wolf: Mittheilungen XIV p. 128.

(l) Maraldi: Mem. de l'Acad. 1704 p. 10. — Histoire de l'Acad. 1705 p. 128. — De la Hire: Hist. de l'Acad. 1700 p. 122. — Spoerer: loc. cit. p. 327.

(m) „Bis zum Jahre 1700 findet sich nur einmal die Breite 15° (im Jahre 1686); „alle anderen Breiten sind niedriger. Aus dem Anfange des 18 Jahrhunderts sind „die höchsten Breiten: einmal 19° (im Jahre 1703) und einmal 18° (im Jahre 1707), „während bis zum Jahre 1713 weit niedrigere Breiten vorherrschend waren. Nach „allem scheint es ziemlich sicher zu sein, dass seit der Mitte des 17 Jahrhunderts „in einem sehr langen Zeitraume wesentlich andere Verhältnisse auf der Sonne ge- „herrscht haben. . . . Wann der regelmässige Gang der heliographischen Breiten „wieder begonnen hat, bleibt noch zu ermitteln. Es war vielleicht schon nach dem „Minimum des Jahres 1713, wenigstens kenne ich danach Flecke höherer Breiten." Spoerer: loc. cit. p. 329.

nimum précédent, mais maintenant réunies en molécules A B pour toujours.

351. Cette diminution continuelle des éléments A et B, nous prouvant qu'après tout le refroidissement d'un minimum au minimum suivant doit toujours gagner plus ou moins et conduire fatalement à *l'extinction du soleil* (323), causera par conséquent à la longue un *changement dans la marche des phénomènes*. Tandis que par exemple les évènements d'une période undécennale quelconque ne différeront en général que peu de ceux d'autres périodes semblables très rapprochées, ils devront différer tout à fait de ceux qu'on a observés en d'autres siècles. S'il en était autrement ma théorie ne serait pas vraie. Le caractère capricieux (346) et changeant (349) dans la périodicité des phénomènes solaires est du même ordre que celui qu'on observe dans les étoiles variables. Tout comme lui il est incompatible avec toute explication à rotation quelconque (306), mais s'explique parfaitement comme une conséquence nécessaire des Principes astrochimiques de ma Théorie.

* * *

En terminant ici ma théorie du soleil il me reste à remercier l'Académie Royale des sciences d'Amsterdam de l'honneur qu'elle a fait à ma théorie en l'insérant dans ses *Annales* et d'exprimer toute ma gratitude à M. M. J. C. Kapteijn, H. A. Lorentz et H. W. Bakhuis Roozeboom, qui, chargés par l'Académie de l'examen de ma théorie, ne m'ont pas épargné leurs objections, m'ont obligeamment indiqué un grand nombre de points encore faibles, dont j'en ai pu renforcer beaucoup depuis, et ont puissamment contribué de la sorte à me faire trouver l'aspect meilleur, plus „convaincant” aussi, j'espère, sous lequel je suis heureux de voir ma théorie imprimée aujourd'hui.

Delft, Juillet 1892.

A. BRESTER Jz.

INDEX ALPHABÉTIQUE

DES

NOMS CITÉS.

-
- | | |
|--|--|
| Abney 9, 61, 65, 71, 84. | Bremers 72. |
| Airy 9. | Brodie 29, 67. |
| Angot 77. | Brooks 111. |
| Angström 15, 72, 74. | Buijs Ballot 78. |
| Arago 9, 10, 56, 75, 86, 102, 107, 108. | Bunsen 34, 158, 159. |
| Archenhold 37, 59. | Campbell 9, 83. |
| Arrhenius 34. | Carrington 41, 44—53, 56, 57, 125, 126, 130, 133, 134, 137, 151, 160. |
| Auwers 44. | Carnelley 67. |
| Balfour Stewart 119, 120, 123, 128, 134, 136, 145, 149, 151, 152. | Cassini 8, 45, 160. |
| Barnard 41, 53, 87, 110. | Chacornac 117, 118, 131, 132. |
| Bass 84. | Chandler 96. |
| Baxendell 146. | Chatelier (Le) 158. |
| Belopolsky 51. | Chladni 108. |
| Bell 45. | Christie 103. |
| Berliner 70. | Ciamicean 81. |
| Berthelot 73, 158. | Claes 81. |
| Bessel 94, 95, 101, 103, 110. | Clarke 67, 72. |
| Bigelow 89. | Clerke 45, 86, 87, 96, 98, 100, 102, 107, 109, 110, 111, 113, 115, 142, 164. |
| Biltz 74. | Clerihew 108. |
| Birmingham 40. | Cleveland Abbe 87. |
| Birt 129. | Common 110. |
| Blancanus 111. | Copeland 15, 100, 102, 104, 112. |
| Blaserna 77. | Cornu 59, 77. |
| Bleekrode 70. | Cotes 87. |
| Boguslawski 98, 107. | Crafts 73. |
| Boss 108. | Crew 16, 45—51, 77, 139. |
| Bradley 111. | Crookes 29, 31, 67, 73. |
| Brauner 67. | Cruls 111, 115. |
| Bredichin 94, 96, 100, 101, 110, 111. | Cysatus 107, 111. |

- Darwin 152.
 Davy 34, 158.
 Dawes 129, 132, 143.
 Debray 34, 158.
 Démocrite 111.
 Despretz 69.
 Deslandres 17, 62, 81.
 Deville 32, 33, 34, 158.
 Dewar 80, 92, 93.
 Dietrich 42, 53.
 Dixon 34.
 Doebereiner 72.
 Doppler 24, 75.
 Donati 102.
 Doyer v. Cleeff 39.
 Draper 31, 87.
 Dubois 36.
 Dumas 67, 72, 73.
 Dunér 16, 39, 48, 51, 77, 100, 139.
 Duponchel 151.
 Ebert 91.
 Ennis 29.
 Ephore 111.
 Fabricius 8.
 Faraday 67.
 Faye 8, 51, 94, 96, 98, 109, 112, 114, 130.
 Fényi 21, 22, 23, 56.
 Fiévez 102, 103.
 Figueros 111.
 Finlay 109.
 Fizeau 75.
 Fowler 39, 82, 88, 136, 150, 156.
 Franz 105.
 Fraunhofer 9.
 Frémy 58.
 Galilei 151.
 Gay Lussac 34.
 Gernet (v.) 158, 159.
 Gill 109.
 Gladstone 67, 72, 73.
 Gleuns 120.
 Goldschmidt 22.
 Gould 112.
 Graham 58, 67.
 Grégoire de Tours 107.
 Grosch 87.
 Grünwald 29, 66.
 Hagenbach 81.
 Hale 55, 62.
 Handrikof 55.
 Harkness 9, 61, 84, 86.
 Hastings 55, 77, 116.
 Hasselberg 92, 100, 102.
 Helmholtz (H.) 29.
 Helmholtz (R.) 36, 58.
 Hément 114.
 Henry 25.
 Herrick 111.
 Herschel (W.) 9, 143.
 Herschel (J.) 42, 43, 51, 98, 105, 108, 109, 110, 135, 141, 151.
 Herschel (A.) 9, 10, 112.
 Hevelius 98, 107, 111.
 Hind 98, 110, 112.
 Hittorf 74.
 Hjelt 58.
 Hodgson 57.
 Holden 42, 87, 110, 111, 142.
 Hooke 108.
 Houzeau 77.
 Huggins 69, 70, 77, 88, 91, 92, 93, 100, 102, 143.
 Humboldt 34, 39, 98, 108, 145.
 Jamin 105.
 Janssen 9, 10, 83, 143, 161.
 Julius 36.
 Kempf 55.
 Kepler 101, 107, 111.
 Kirchhoff 9, 15, 87, 91.
 Kirkwood 112.
 Klein 56, 91, 95, 96, 115.
 Klinkerfues 77, 112.
 Koch 90.
 Koerber 85, 89, 111.
 Kopp 72.

- Köppen 149.
 Korteweg 146, 151.
 Kreutz 105, 109, 113.
 Krüger 110.
 Krüss 67.
 Kundt 74, 81.
 Lahire 134, 167.
 Lalande 160, 167.
 Lamont 161.
 Langley 25, 36, 59, 77, 87, 132, 143.
 Lassel 9.
 Lecoq de Boisbaudran 81.
 Leray 29.
 Leverrier 112, 117.
 Liais 9, 10, 56, 83, 95, 96, 106,
 107, 108, 111, 118, 120, 132.
 Littrow 10, 56, 96, 108.
 Liveing 80, 92, 93.
 Lockyer *cité presque continuellement*.
 Lodge 78.
 Loewy 119, 120, 123, 128, 136, 145.
 Lohse 15, 31, 100.
 Longomontanus 107.
 Lorentz 79.
 Maclear 98, 112.
 Mallard 158.
 Maraldi 167.
 Marchand 148.
 Maunder 103.
 Maury 107, 111.
 Mayer 29.
 Maxwell 52.
 Meldola 29, 31.
 Mendeleef 11, 72.
 Merritt 36.
 Meyer (L.) 72.
 Meyer (C.) 73.
 Meyer (W.) 120.
 Mills 29, 31, 67.
 Minary 59.
 Mitscherlich 74, 81.
 Montigny 75, 77.
 Müller 80, 96, 102.
 Nahrwold 70.
 Nasmyth 143.
 Newcomb 87.
 Newlands 72.
 Newton (J.) 97, 111.
 Newton (H. A.) 112.
 Nillson 67.
 Norton 89, 94, 142.
 Olbers 94, 95, 101, 108, 110.
 Oettingen 158, 159.
 Oppenheim 110.
 Ostwald 35, 68—70, 72.
 Oudemans 39, 95, 96, 114.
 Pape 94, 96, 101.
 Pelouze 58.
 Perry 121, 140, 143,
 Peters (C. F. W.) 105, 111, 112.
 Peters (C. H. F.) 41, 57, 134.
 Petit 56.
 Pettenkofer 72.
 Pfaundler 32, 59.
 Phillips 120.
 Piazzzi Smyth 103, 105, 149.
 Picard 167.
 Pierce 151.
 Pingré 98, 107.
 Plücker 74.
 Pogson 10.
 Prazmowski 102.
 Preyer 67.
 Pringsheim 36, 59, 60, 93.
 Pritchett 84.
 Prout 72.
 Radau 29, 45.
 Rand Capron 102.
 Ranyard 86.
 Rayet 10, 77.
 Rebeur Paschwitz 112.
 Remont 70.
 Respighi 9, 23, 77.
 Reynolds 67.
 Ricco 100, 149, 164.
 Richter 72.

- Roche 94.
 Roscoe 14, 74, 92.
 Rowland 45, 70.
 Russell 81.
 Safarik 87.
 Salet 34, 69, 74.
 Samter 120, 139.
 Schaeberle 24, 85, 89.
 Scheiner (Chr.) 9, 111.
 Scheiner (J.) 9, 31, 71, 78, 83,
 89—92, 94, 127.
 Schiaparelli 87, 95, 96, 112, 152.
 Schmidt (J.) 39, 56, 96, 110, 115.
 Schmidt (A.) 88, 144.
 Schönfeld 39.
 Schroeter 8, 45, 108.
 Schuster 9, 26, 61, 65, 71, 81, 84,
 92, 93.
 Schwabe 120, 143, 145.
 Secchi *cité presque continuellement.*
 Sidgreaves 120.
 Siemens 60, 93.
 Smysloff 134.
 Snell 107.
 Spée 77.
 Spencer 67.
 Spoerer *cité presque continuellement.*
 Stapley 72.
 Stas 72.
 Sterne 67.
 Sterry Hunt 29, 67.
 Stokes 67, 81.
 Stone 149.
 Stoney 11, 56, 57.
 Struve 107.
 Swift 55, 56, 111.
 Tacchini 10, 55, 56, 64, 121.
 Tebbutt 109.
 Tempel 110.
 Tennant 9, 10.
 Thalen 74.
 Thilo 133.
 Thollon 103.
 Thomson 29.
 Thorpe 58.
 Troost 73.
 Trouvelot 20, 22, 23, 57, 121, 138.
 Tudor Cundale 35.
 Tyndall 26, 63, 99.
 Umlauf 149.
 Valtz 95, 98.
 Very 36, 59.
 Vielle 158.
 Vogel 14, 28, 57, 77, 100, 102.
 Vogel (W.) 81.
 Warburg 74.
 Warren de la Rue 119, 120, 123,
 128, 136, 145.
 Wassenius 19.
 Waterston 29.
 Webb 108.
 Weinstein 90.
 Weiss 112.
 Welsbach 68.
 Wendelin 107, 111.
 Wendt 67, 72.
 Whipple 41, 53.
 Wiedemann (E.) 36, 58, 92, 93.
 Wiedemann (G.) 37.
 Williams 108.
 Willigen (v. d.) 77.
 Wilsing 8, 45, 52, 88, 121, 139, 152.
 Wilson (A.) 8.
 Wilson (H. C.) 87.
 Winnecke 94, 98.
 Wolf 145, 146, 151, 167.
 Wright 102, 103.
 Wüllner 93.
 Wurtz 73, 74.
 Wutschichowski 105.
 Young *cité presque continuellement.*
 Zöllner 22, 51, 57, 77, 80, 89, 94,
 98, 100, 105.
 Zwiers 34.

TABLE DES MATIÈRES.

Avant-Propos.

| | Pages. |
|--|--------|
| PRINCIPES DE MA THÉORIE. | |
| A. IDÉES QUI, GÉNÉRALEMENT ACCEPTÉES DÉJÀ MAINTENANT QUANT À LA CONSTITUTION DU SOLEIL, FORMENT AUSSI LA BASE PRINCIPALE DE MA THÉORIE | 8 |
| B. PRINCIPES NOUVEAUX : | |
| Principe I. <i>Tous les corps incandescents célestes sont tranquilles en eux-mêmes, et leur calme intérieur est tel que leurs molécules différemment lourdes, triées par la gravitation en sphères concentriques, ne perdent jamais leur stratification.</i> | 10 |
| § 1. Le gaz solaire nous montrant ses éléments invariablement stratifiés et rangés en général d'après leur poids spécifique est par conséquent tranquille en lui-même | 10 |
| § 2. Les protubérances, même lorsqu'elles ont l'apparence d'éruptions formidables, n'indiquent cependant aucun déplacement matériel. | 18 |
| § 3. Le soleil conservant toujours sa tranquillité intérieure, ses couches stratifiées ont une température, qui dans un même niveau est toujours la même en divers endroits voisins, et n'éprouve jamais de changement local soudain. | 25 |
| § 4. La tranquillité du gaz solaire se comprend facilement, parce que ce gaz étant nécessairement riche en molécules dissociées et évaporées, prêtes à se condenser et à produire de la chaleur au moindre refroidissement, toute diminution de température y est impossible et a fortiori tout refroidissement inégal, qui seul pourrait mettre la masse en mouvement | 27 |
| Principe II. <i>Le refroidissement continu des astres cause généralement dans leurs couches extérieures une transformation intermittente de l'énergie chimique en chaleur et y produit alors des éruptions de chaleur périodiques</i> | 30 |

THÉORIE DU SOLEIL.

CHAPITRE I.

| | |
|--|----|
| EXPLICATION DE L'INÉGALITÉ DANS LA VITESSE ANGULAIRE DES DIFFÉRENTES ZONES DE LA PHOTOSPHERE | 41 |
|--|----|

CHAPITRE II.

| | |
|---|----|
| EXPLICATION DES PROTUBÉRANCES | 54 |
| § 1. Explication des protubérances comme des lueurs passagères dans la matière tranquille | 54 |

| | Pages. |
|---|--------|
| § 2. Explication des formes diverses des protubérances et de leur distribution. | 61 |
| § 3. Discussion des procès chimiques, qui allument les protubérances | 66 |
| § 4. Discussion du déplacement des raies dans le spectre des protubérances. | 75 |

CHAPITRE III.

| EXPLICATION DE LA COURONNE | | 83 |
|---|--|----|
| § 1. Explication des phénomènes divers que présente la Couronne. | | 83 |
| § 2. Réfutation du raisonnement bien connu que l'analyse spectrale démontrerait que l'atmosphère solaire aurait même à sa base une densité prodigieusement petite | | 87 |
| § 3. Réfutation de l'opinion généralement adoptée que la résistance infiniment petite, qu'oppose la couronne au passage des comètes, démontrerait la petitesse infinie de la densité de l'atmosphère du soleil. | | 94 |

CHAPITRE IV.

| EXPLICATION DES TACHES ET DES FACULES | | 116 |
|--|--|-----|
| § 1. Explication de la formation des taches et des facules | | 116 |
| § 2. Explication des mouvements divers, que présentent les taches. | | 122 |
| <i>a.</i> leurs mouvements exceptionnels durant leur formation. | | 122 |
| <i>b.</i> leurs mouvements de rotation sur l'axe solaire | | 124 |
| <i>c.</i> leurs mouvements propres en latitude. | | 124 |
| <i>d.</i> leurs mouvements rotatoires et leurs apparences cycloniques. | | 129 |
| § 3. Explication des causes, qui font disparaître les taches | | 131 |
| § 4. Explication de la répartition des taches en zones | | 133 |
| § 5. Explication de l'apparence granulée du globe photosphérique. | | 142 |

CHAPITRE V.

| EXPLICATION DE LA PÉRIODICITÉ DANS LES PHÉNOMÈNES SOLAIRES. | | 145 |
|---|--|-----|
| § 1. Description sommaire des phénomènes et explication du changement dans le spectre des taches aux différentes époques d'une même période | | 145 |
| § 2. Explication de la périodicité des phénomènes solaires en général | | 151 |
| § 3. Explication de la périodicité de quelques phénomènes solaires en particulier. | | 159 |
| § 4. Explication des changements séculaires dans la périodicité des phénomènes solaires | | 165 |