

## Communication de Monsieur le Professeur Jean-Louis Rivail



Séance du 18 février 2011



### Science et « effet serendip »

L'usage d'un néologisme est toujours critiquable, mais si « *serendipidité* » ne figure pas dans le dictionnaire actuel de l'Académie française, dont la neuvième édition n'a pas encore abordé la lettre S, un immortel, Alain Peyrefitte a défini « l'effet serendip » en ces termes : « *Dans l'étrange pays de Serendip, tel que Horace Walpole en a conté la légende dans Les trois princes de Serendip, tout arrive à l'envers. Vous trouvez par hasard ce que vous ne cherchez pas. Vous commettez une erreur, elle tourne à votre avantage... Walpole appela ce curieux phénomène serendipidity. Nommons-le effet serendip* »<sup>[1]</sup>.

Comme l'indique l'académicien, l'expression nous vient d'Angleterre où elle a officiellement acquis droit de cité puisque *The Oxford English Dictionary* en donne la définition suivante : « *Serendipidity (de Serendip, l'ancien nom de Ceylan). Mot forgé par Horace Walpole (lettre à Mann, 28 janvier 1754) à partir du titre d'un conte de fée, Les trois princes de Serendip dont les héros ne cessent de découvrir, par hasard et perspicacité, des choses qu'ils ne cherchaient pas.*

*Faculté de faire, par hasard, des découvertes heureuses et inattendues* ».

Une telle définition fait immédiatement penser à Christophe Colomb qui, fort de la théorie de la rotondité de la terre, mis cap à l'ouest pour atteindre la Chine et découvrit l'Amérique.

L'histoire des sciences abonde en découvertes fortuites qui relèvent de l'effet serendip tel qu'il vient d'être défini. L'un des cas récents les plus remarquables est la découverte, en 1928, de la pénicilline par Sir Alexander Fleming dont

une culture de staphylocoques s'est trouvée contaminée accidentellement par le *Penicillium notatum*.

Ces deux exemples illustrent la diversité des situations pouvant conduire à une découverte par effet serendip. Dans le premier cas, la découverte résulte de la décision téméraire de s'engager dans une aventure et qui conduit à une situation inattendue. Il ne reste alors plus qu'à constater l'évidence. Dans le cas de Fleming, le résultat d'une manipulation relativement routinière et qui ne constituait que la phase préliminaire d'une étude était parfaitement attendu, mais un événement fortuit est venu en perturber le bon déroulement. C'est alors que le professionnalisme du chercheur l'a amené à chercher à analyser les causes de cette perturbation et c'est ce qui l'a conduit à la découverte.

Il serait vain de vouloir dresser une liste exhaustive des innombrables exemples où l'effet serendip a joué un rôle majeur. Nous choisirons quelques découvertes importantes, proches de nous dans le temps et dans l'espace, pour détailler les circonstances dans lesquelles elles ont été faites et analyser quelques aspects de la démarche scientifique qui a permis d'en établir la réalité.

La période de fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, au cours de laquelle se sont préparées les grandes révolutions scientifiques du XX<sup>ème</sup> siècle, a été marquée par quelques découvertes majeures qui n'ont pas été exemptes d'imprévu. L'une des grandes énigmes de cette époque était le rayonnement cathodique produit dans une ampoule vide de gaz munie de deux électrodes portées à des potentiels opposés, qui se manifeste par une luminescence sur la face de l'ampoule opposée à la cathode (électrode dont le potentiel est négatif). Le 8 novembre 1895, W.C. Röntgen, préparant une expérience, et pour ne pas être gêné par la lumière émise par la paroi de l'ampoule, enveloppe celle-ci d'un papier noir et s'aperçoit qu'un écran au platinocyanure de baryum, utilisé pour détecter le rayonnement ultra-violet, devient fluorescent. Il découvre l'émission d'un mystérieux rayonnement capable de traverser une plaque de carton noir, qui ne tarda pas à être appelé « rayonnement X ». Il s'agit manifestement d'une première manifestation de l'effet serendip. Mais l'histoire ne s'arrête pas là ! Le 22 décembre, il interpose la main de sa femme entre le tube et une plaque photographique qui, au développement, dévoile le squelette de la main. La découverte fera sensation, y compris dans la presse généraliste allemande. Toussaint Barthélemy, un médecin qui avait fait ses études à Nancy avant de rejoindre Paris, lisait les journaux allemands. Frappé par la nouvelle, il s'associa à un confrère, Paul Oudin, également ancien étudiant de la faculté de Médecine de Nancy, pour répéter l'expérience de Röntgen dès janvier 1896. Le résultat fut aussitôt communiqué à Henri Poincaré à l'Académie des Sciences qui le signala à ses confrères, lors de la séance du 20 janvier<sup>[2]</sup>. Cette nouvelle, rapportée en trois

lignes dans les Comptes Rendus, fit grand bruit dans les milieux scientifiques, en particulier à l'Académie, et dès la séance suivante, Lannelongue présentait une note, à laquelle il associait ses deux confrères, qui faisait état de radiographies de pièces anatomiques<sup>[3]</sup>. Poincaré commença à se passionner pour ce nouveau rayonnement, qui suscitait déjà la curiosité des expérimentateurs à un point tel que la *Revue générale des Sciences pures et appliquées* publia dès le 30 janvier, un numéro spécial consacré aux « Rayons X de Röntgen » sous la direction de Henri Poincaré. Dans l'article qu'il écrit, ce dernier fait la remarque suivante : « *Ainsi, c'est le verre qui émet les rayons de Röntgen, et il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on pas alors se demander si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen, quelle que soit la cause de leur fluorescence ? Les phénomènes ne seraient plus alors liés à une cause électrique. Cela n'est pas très probable, mais cela est possible et sans doute assez facile à vérifier* »<sup>[4]</sup>. Henri Becquerel assistait à la séance de l'Académie des Sciences au cours de laquelle a été présenté le cliché de Barthélemy et Oudin. Il était aussi collègue de Poincaré à l'École Polytechnique et a sûrement discuté avec son confrère de cette hypothèse, dont par la suite il s'attribua une partie de la paternité, ce qui n'est pas impossible car il s'intéressait à la fluorescence dans son laboratoire du Muséum. Il y disposait de nombreux échantillons de minéraux fluorescents et en particulier de belles lamelles fluorescentes de sulfate double d'uranyle et de potassium. Il entrepris une expérimentation à qui consistait à exposer au rayonnement fluorescent une plaque photographique protégée de la lumière par une enveloppe noire sur laquelle un petit objet métallique devait arrêter localement le rayonnement et prouver que l'éventuelle figure observée sur la plaque avait bien l'origine attendue. Pour obtenir une fluorescence suffisamment intense il était nécessaire d'éclairer le système avec une lumière vive et il n'existait que deux sources commodes d'une telle lumière : l'arc électrique, qu'il fallait entretenir, ou le soleil bien plus facile à utiliser, du moins lorsqu'il brille. Une expérience prévue pour le mercredi 26 février dut être remise, faute de soleil. Il en alla de même les jours suivants, de sorte que le dimanche 1<sup>er</sup> mars, premier jour ensoleillé, Becquerel entrepris de refaire l'expérience dès le début et, pour ne pas risquer d'utiliser une plaque photographique qui aurait subi quelque contamination accidentelle au cours des tentatives précédentes, il décida de changer cette plaque. Mais au lieu de la jeter, il eut la curiosité de la développer et, à sa grande surprise, il constata qu'elle était impressionnée comme il attendait qu'elle le soit si la fluorescence s'était produite. Dès le lendemain il faisait part de cette observation à l'Académie des Sciences<sup>[5]</sup> et, après plusieurs expériences de contrôle, la vérification que le rayonnement découvert a des propriétés différentes de celles des rayons X et qu'il est caractéristique de l'uranium, sous quelque forme que ce soit, y compris métallique<sup>[6]</sup>, Henri Becquerel pouvait annoncer la découverte d'un

nouveau rayonnement auquel il donnera plus tard le nom de « rayonnement uranique »<sup>[7]</sup>. Ce sont Pierre et Marie Curie qui apporteront une contribution importante à l'étude du phénomène en montrant qu'il n'est pas spécifique du seul uranium et proposeront le terme de « radioactivité ».

Ce nouveau domaine de la science est naturellement riche en découvertes inattendues. En 1929, Marie Curie engage une jeune technicienne chimiste de 20 ans, Marguerite Perey, pour en faire sa préparatrice. Par la suite, celle-ci est appelée à travailler, toujours à l'Institut du Radium, avec André-Louis Debierne, qui découvrit l'actinium en 1899. En 1939, Debierne lui demande de préparer un échantillon très pur d'actinium et, pour suivre la purification, Marguerite Perey procède à différentes mesures. Elle constate une anomalie dans l'intensité du rayonnement émis, en particulier dans les minutes qui suivent la fin de la purification. Après avoir éliminé la possibilité d'une impureté, elle s'aperçut qu'une faible fraction de l'actinium (de l'ordre de 1,2 %) subissait une désintégration contrairement à la désintégration majoritaire et, comme l'actinium est l'élément 89, le produit de la désintégration devait être l'élément 87, le seul élément de la classification périodique encore inconnu, dont Mendeleïeff avait prédit l'existence et appelé *éka césium*. Elle proposa de le nommer Francium, ce qui fut admis par les instances internationales. La faible concentration et la courte demi-vie de cet élément (23 minutes) expliquent qu'il était jusqu'alors passé inaperçu et soulignent toute la rigueur expérimentale de celle qui l'a découvert. Par la suite, la petite chimiste put compléter sa formation universitaire, obtint un doctorat et une chaire de chimie nucléaire à l'Université de Strasbourg où elle fonda et dirigea le centre de recherches nucléaires de Cronembourg. Elle fut aussi la première femme à entrer à l'Académie des Sciences, le 12 mars 1962, par la petite porte cependant car elle n'y fut admise qu'en qualité de membre correspondant.

Dans le domaine de la chimie, on peut citer, entre autres, la découverte de la catalyse hétérogène. Dans les années 1880, l'Allemand Ludwig Mond avait découvert que l'oxyde de carbone est susceptible de s'ajouter à haute température à des métaux comme le fer ou le nickel pour donner des composés moléculaires. Partant d'analogies structurales entre l'oxyde de carbone et l'éthylène, Sabatier et Senderens, à Toulouse, entreprirent de faire réagir l'éthylène sur le nickel, mais contrairement à leur attente, aucun composé d'addition du nickel n'était décelable à la sortie du réacteur. Ils remarquèrent que du carbone s'était déposé dans le réacteur et que les gaz qui en sortaient contenaient une certaine proportion d'éthane<sup>[9]</sup>, composé qui résulte de l'addition d'hydrogène à l'éthylène. Ils comprirent que l'hydrogène résultait de la décomposition d'une partie de l'éthylène - et la présence de carbone confirmait cette hypothèse - et qu'une autre fraction de l'éthylène avait réagi avec cet hydrogène. Reprenant

alors l'expérience avec un mélange d'éthylène et d'hydrogène, dans des conditions plus douces, ils purent établir que la réaction est quantitative, le nickel se retrouvant intégralement inaltéré à la fin de la réaction<sup>[10]</sup>. Cette importante découverte, qui a été étendue à d'autres métaux, est à la base, encore aujourd'hui, de nombreux procédés industriels et a valu à Paul Sabatier en 1912, le Prix Nobel de chimie qu'il partagea avec le nancéien Victor Grignard.

Le domaine des polymères est particulièrement riche en surprises de ce genre<sup>[11]</sup>. On pense à A. Collins, chez Du Pont de Nemours qui travaillait à fabriquer des trimères de l'acétylène et qui, au retour d'un week-end, découvrit dans son ballon une masse solide ayant les propriétés d'un excellent caoutchouc. Ce sera le néoprène. Dans la même firme, vers la fin des années 1930, Roy Punkett avait pour mission de synthétiser de nouveaux fréons. Un jour où il voulut utiliser comme réactif du tétrafluoroéthylène, gazeux dans les conditions normales, il eut la surprise de ne rien extraire du réservoir annoncé comme plein de ce gaz. En sectionnant celui-ci on découvrit une masse polymérisée : le téflon. Un dernier exemple concerne la firme Eastman Kodak où, en 1951 une équipe de chimistes cherchait de nouveaux monomères pouvant conduire à des résines légères, résistantes et ininflammables pour les cabines d'avion. Un jeune chimiste avait synthétisé et purifié du cyanoacrylate d'éthyle dont il voulu mesurer l'indice de réfraction. La mesure finie, les deux prismes du réfractomètre étaient solidement soudés l'un à l'autre, le produit s'étant spontanément polymérisé sous l'influence de l'humidité atmosphérique. C'était la découverte d'une colle cyanoacrylique aujourd'hui bien connue.

Les autres disciplines expérimentales abondent aussi en découvertes inattendues. A la fin des années 1920, le Danois H. Dam travaillait sur le métabolisme du cholestérol chez le poulet et pour ce faire alimentait ses sujets avec une nourriture pauvre en graisses. Il constata de fortes hémorragies pouvant entraîner la mort, mais celles-ci cessaient lorsque les animaux se nourrissaient avec des feuilles de luzerne. L'analyse de ce végétal lui permit de découvrir la vitamine K.

Mais cet effet n'est pas le privilège des sciences dites exactes. L'origine même du terme serendipité se trouve dans une recherche historique faite par Wallace et qui lui a permis de résoudre une énigme d'héraldique.

Cette sélection, très succincte, de quelques faits remarquables parmi un très grand nombre, ne saurait s'achever sans mentionner un cas sans doute exemplaire quant à ses conséquences. En 1864, J.C. Maxwell unifiait les théories de l'électricité et du magnétisme et publiait les équations qui portent son nom. De celles-ci on peut déduire l'existence d'ondes électromagnétiques qui, après application numérique, se révèlent être animées de la vitesse de la lumière. Il

restait à prouver l'existence de ces ondes. C'est ce qu'entrepris de faire H.R. Hertz à Karlsruhe en 1886, en réalisant un dispositif qui produit des ondes dont la longueur d'onde, de l'ordre de quelques mètres, permettait de procéder à des mesures en laboratoire. Pour détecter le phénomène, Hertz imagina d'utiliser une boucle de cuivre qui, placée dans le plan perpendiculaire au champ magnétique oscillant devait être parcourue par un courant. La boucle présentant une petite interruption, le courant se manifestait par des étincelles éclatant dans cet interstice, dont l'intensité renseignait sur l'amplitude du champ magnétique. Au cours de ses mesures, Hertz crut remarquer que les étincelles étaient plus intenses lorsque la boucle était éclairée. Pour en avoir le cœur net il réalisa un montage expérimental qui mit en évidence l'apparition d'une charge électrique sur une plaque métallique éclairée par une lumière riche en rayons ultra-violet. Il venait de découvrir l'effet photoélectrique et c'est l'étude expérimentale de cet effet par Millikan qui confirma la théorie du photon d'Einstein<sup>[12]</sup>. En cherchant, avec succès, à couronner le magnifique édifice de la science classique, Hertz avait ouvert la boîte de Pandore d'où allait sortir la physique quantique !

Naturellement, de telles situations sont exceptionnelles. Moins exceptionnelles cependant sont les expériences qui ne donnent pas le résultat attendu, comme en témoignent de nombreux titres de mémoires scientifiques. Ces éventualités font partie du quotidien des chercheurs qui, à l'instar de Christophe Colomb, s'appuient sur le savoir acquis pour tenter de prévoir empiriquement des résultats à venir au moyen d'une démarche de généralisation de ce savoir. Cette démarche a été analysée Henri Poincaré qui écrit : *« grâce à la généralisation, chaque fait observé nous en fait prévoir un grand nombre ; seulement nous ne devons pas oublier que le premier seul est certain, que tous les autres ne sont que probables. Si solidement assise que puisse nous paraître une prévision, nous ne sommes jamais sûrs absolument que l'expérience ne la démentira pas si nous entreprenons de la vérifier. Mais la probabilité est assez grande pour que pratiquement nous puissions nous en contenter. Mieux vaut prévoir sans certitude que de ne pas prévoir du tout »*<sup>[13]</sup>. Un résultat contraire aux prévisions est souvent un résultat négatif mais, paradoxalement, il arrive qu'il soit, comme nous l'avons montré sur quelques exemples, d'une importance capitale en ouvrant un champ insoupçonné de la connaissance. C'est, d'ailleurs, la seule possibilité de découvrir un phénomène entièrement nouveau. La condition pour de telles découvertes est que le professionnalisme du chercheur le fasse s'interroger sur les causes possibles du résultat inattendu. Louis Leprince Ringuet insiste sur la nécessité de savoir prendre en compte l'imprévu : *« Celui qui trouve ce qu'il cherche fait en général un bon travail d'écolier [...]. Un bon chercheur doit savoir faire attention aux signes qui révéleront l'existence d'un phénomène auquel il ne s'attend pas. »*<sup>[14]</sup>.

Le terme « bon travail d'écolier » n'a rien de péjoratif, car c'est par ce moyen que l'individu acquiert l'essentiel de son savoir. De même au niveau collectif, ce patient accroissement des connaissances par le mécanisme de généralisation enrichit notre perception du monde matériel. Et c'est en outre la seule façon de se trouver en face de l'imprévu. « *Cherchez et vous trouverez* » dit l'Évangile<sup>[15]</sup> mais le texte ne dit pas : vous trouverez ce que vous cherchez, car c'est avant tout d'une disponibilité de l'esprit qu'il est question. Plus explicite est le fragment 18 d'Héraclite, traduit par Simone Weil : « *Si on n'espère pas, on ne trouvera pas l'inespéré ; car on ne peut le chercher, il n'est pas de voie vers lui.* »<sup>[16]</sup> Ces remarques nous éclairent sur la spécificité de la démarche du chercheur, très différente de celle qui caractérise la plupart des activités humaines et qui comporte, sans doute plus que la plupart de celles-ci, l'espérance de faire progresser le savoir d'au moins un petit pas qui peut parfois se transformer en grand bond.

Revenant aux définitions données plus haut de l'effet serendip ; ou en acceptant le néologisme de la serendipidité ; on est frappé d'y voir figurer le mot hasard. En science en tous cas, plutôt que hasard, il paraît préférable, avec J. Jacques<sup>[11]</sup>, de parler d'imprévu car, comme le montre Poincaré, il y a au départ de la démarche un acte conscient de prévision. Et si le hasard peut jouer un rôle - on pense par exemple aux nuages sur Paris les quatre derniers jours de février 1896 - ce n'est certainement pas le même que celui qui gouverne une loterie. Pasteur en a dit « *dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés* »<sup>[17]</sup>. Mais les esprits ne se préparent pas sur les bancs des amphithéâtres. Le compagnonnage de quelques années que constitue la formation par la recherche est la voie idéale qui entraîne les jeunes générations à exercer une activité créatrice, d'une importance capitale pour la formation des futurs cadres industriels, à une époque où l'innovation est l'un des moteurs principaux de l'activité économique. En France, à la différence de la grande majorité des pays développés, cette formation n'est pas valorisée en tant que telle dans notre industrie, qui préfère choisir ses cadres dans une population de personnes sélectionnées très jeunes sur des critères purement académiques. Les objectifs de leur formation ne prennent que peu en compte le développement de cet esprit critique et d'observation, indispensable au métier de chercheur. C'est une exception française dont on n'a pas toujours évalué les conséquences et c'est, n'en doutons pas, une autre facette du « mal français ».

## Discussion

Notre Présidente, Madame Christiane Dupuy-Stutzmann lança la discussion en mettant en évidence les notions de chance, d'aspect fortuit et de fugacité. Elle rappela le cas d'Ambroise Paré (qui s'aperçut par hasard en soignant ses blessés de guerre du rôle néfaste de l'huile de sureau) et celui des techniques de chant au dix-neuvième siècle qui ont dû s'adapter à la puissance de plus en plus grande des instruments de musique. Elle se demanda si on ne pourrait pas préparer les jeunes générations à être mieux réceptives à l'effet *serendip*. De fait, la jeunesse actuelle, pour progresser et trouver, use beaucoup de l'association « Essais / Erreurs ». Les débats ont été singulièrement longs (55 minutes) et, d'une certaine façon, passionnés. Sont intervenus Mmes Mathieu, Choné et Créhange, MM. Bonnefont, Dubois, Kevers-Pascalis, Mainard, Le Tacon, Bertaud, Larcen, Clerc, Laxenaire, Vert, Perrin. Nombre de sujets furent abordés : l'importance de celui qui procède au montage (dans l'enchaînement Montage / Observation / Interprétation) ; l'effet *serendip* créant une situation qui n'est pas assumée ; l'ajout d'autres exemples (Découverte du rayonnement fossile et des modérateurs dans les centrales nucléaires ; le surréalisme et Mallarmé) ; la suprématie de l'imagination sur la rigueur en recherche (dès lors, l'esprit cartésien n'est-il pas un obstacle ?) ; l'opposition entre la démarche scientifique classique et l'effet *serendip* (qui a pu être considéré comme dangereux et pervers) ; la comparaison avec les Écritures et la question de la grâce ; les qualités du chercheur : importance du besoin de comprendre, faculté de synthèse et d'anticipation ; le frein que constitue le principe de précaution. On fit observer que, de toute façon, beaucoup de découvertes échappent à l'effet *serendip*.



## Bibliographie

- [1] A. Peyrefitte, *Le mal français*, Plon, Paris (1977) p. 429.
- [2] MM les Drs Oudin et Barthélemy communiquent une photographie des os de la main à l'aide des «X- Strahlen» de M. le Professeur Röntgen. C. R. Acad. Sci. 122 (1896) p. 150.
- [3] *De l'utilité des photographies par les rayons X dans la pathologie humaine*, Note de MM. Lannelongue, Bathélemy et Oudin C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 159-60 ; *Sur l'application des rayons de Röntgen au diagnostic chirurgical*, Note de MM. Lannelongue et Oudin C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 283-285.
- [4] H. Poincaré, *Les rayons cathodiques et les rayons de Röntgen*, Revue générale des Sciences pures et appliquées, T. VII, 30 janvier 1896, pp. 52-59.

- [5] H. Becquerel, *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents*, C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 501-3.
- [6] H. Becquerel, *Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents*, C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 559-64 ; *Sur les radiations invisibles émises par divers sels d'uranium*, C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 689-94 ; *Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes*, C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 762-7 ; *Emission de radiations nouvelles par l'uranium métallique*, C. R. Acad. Sci. 122 (1896) pp. 1086-8.
- [7] H. Becquerel, *Sur diverses propriétés des rayons uraniques*, C. R. Acad. Sci. 123 (1896) pp. 855-858.
- [8] M. Perey, *Sur un élément 87, dérivé de l'actinium*, C. R. Acad. Sci. 208 (1939) pp. 97-99.
- [9] P. Sabatier et J.-B. Senderens, *Action du nickel sur l'éthylène*, C. R. Acad. Sci. 124 (1897) pp. 616-618.
- [10] P. Sabatier et J.-B. Senderens, *Action du nickel sur l'éthylène. Synthèse de l'éthane*, C. R. Acad. Sci. 124 (1897) pp. 1358-1361.
- [11] De très nombreux exemples sont cités par J. Jacques, *L'imprévu ou la science des objets trouvés*, Odile Jacob, Paris (1990).
- [12] B. Hoffmann, *L'étrange histoire des Quanta*, Editions du Seuil, Paris (1967), pp. 26-38.
- [13] H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris (1902) p. 171.
- [14] L. Leprince-Ringuet *Des atomes et des hommes* Arthème Fayard, Paris (1957) pp. 57-58.
- [15] Mathieu Chap. 7, vs.7.
- [16] S. Weil, *La source grecque*, Gallimard, Paris (1953) p.140. Je remercie mon confrère Philippe Bertaud de m'avoir communiqué cette référence.
- [17] L. Pasteur, *Discours prononcé à Douai le 7 décembre 1854 à l'occasion de l'installation solennelle de la Faculté des Lettres de Douai et de la Faculté des Sciences de Lille in Œuvres de Pasteur réunies par Pasteur Valléry-Radot, Tome VII (Mélanges scientifiques et littéraires)*, Masson, Paris (1939) p. 131.