

HISTOIRE DES SCIENCES

Les jardins chimiques : un faux-pas vers la vie synthétique

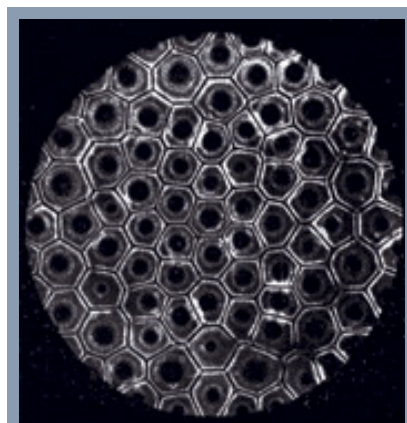
Créer la vie. Telle était l'ambition du médecin Stéphane Leduc (1853-1939) au début du XX^e siècle. Devenus une curiosité scientifique, ses travaux, fondateurs d'une forme de biologie synthétique, posent une question essentielle : comment les organismes vivants se développent-ils ?

Fin 1910, dans un laboratoire de Nantes. Avec ferveur et attention, Stéphane Leduc, médecin et professeur à l'École de médecine de la ville, relit le texte de la traduction de son ouvrage *Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées* qui a été publié quelques mois auparavant et qui va paraître en anglais sous le titre *The mechanism of life*. La préface de son traducteur, W. Deane Butcher, ancien président de la section d'électrothérapie de la Société royale de médecine, le ravit : « Il n'y a, je crois, aucun spectacle plus extraordinaire et plus éclairant que celui d'une croissance osmotique – une masse grossière de matière brute inanimée en train de germer devant nos yeux, de produire un bourgeon, une tige, une racine, un rameau, une feuille et un fruit, sans aucune stimulation provenant d'un germe ou d'une graine, sans même la présence de matière organique. Car ces croissances minérales ne sont pas seulement des cristallisations, comme le pensent certains. [...] Elles imitent les formes, la couleur, la texture et même la structure microscopique d'une croissance organique, de manière si parfaite que cela "trompe les élus mêmes". »

De quelles croissances minérales s'agit-il ? Depuis 1905, Leduc mène des recherches visant à créer des formes ressemblant à des organismes vivants tels des champignons, plantes ou animaux marins. Son matériau ? Des sels métalliques qu'il fait interagir

selon une technique dérivée de celle du chimiste allemand Moritz Traube (1826-1894) qui, en 1867, avait synthétisé les premières « cellules artificielles » grâce aux propriétés de précipités chimiques.

Leduc fait réagir des sels métalliques avec de la gélatine ou des solutions salines. Il obtient, comme Traube, des cellules artificielles entourées d'une membrane qui



TISSU DE CELLULES ARTIFICIELLES obtenu par S. Leduc en faisant diffuser du ferrocyanure de potassium dans de la gélatine.

laisse entrer l'eau mais pas les solutés, selon le phénomène d'osmose caractérisé par le physicien, botaniste et physiologiste René Dutrochet dans les années 1827-1832. En présence d'un tel afflux d'eau, les cellules osmotiques, comme les nomme Leduc, grossissent à vue d'œil, et se divisent.

De plus, en mélangeant toutes sortes de sels métalliques (fer, nickel, cuivre, manganèse, cobalt, etc.) avec des solutions de carbonates ou de silicates, Leduc obtient des structures qui rappellent la diversité du vivant et que nous nommons aujourd'hui des « jardins chimiques ».

Une conviction inébranlable l'anime : « Des millions de formes éphémères ont dû ainsi se former pour donner la nature actuelle dans laquelle le monde vivant [représente] la matière ainsi organisée par osmose », écrit-il dans *Théorie physico-chimique de la vie*. Ou encore : « De toutes les forces physiques, c'est la pression osmotique et l'osmose qui possèdent la puissance d'organisation la plus remarquable, les facultés morphogéniques les plus étendues. » Il renouvelle ainsi la dimension quasi métaphysique que René Dutrochet attribuait à l'osmose : « [L'osmose] est le point par lequel la physique des corps vivants se confond avec la physique des corps inorganiques. »

Longtemps oubliés, les travaux et les théories de Leduc ont été réévalués au début des années 2000 par Evelyn Fox Keller, physicienne et historienne des sciences américaine. Comme celles du chimiste suédois Jöns Jacob Berzélius (1779-1848), à un siècle d'écart, ses recherches portent d'abord sur l'utilisation de l'électricité à des fins thérapeutiques. Promoteur de l'électrothérapie, il découvre que certaines formes

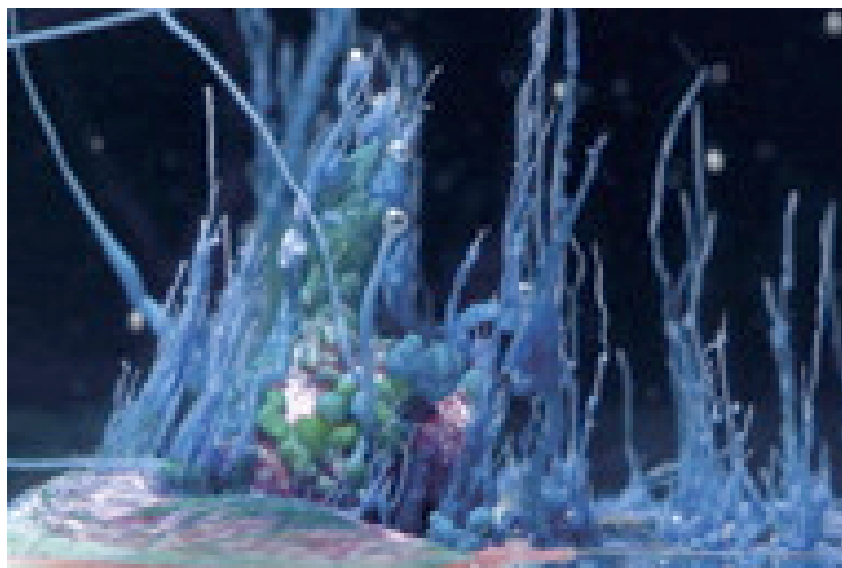
d'épilepsie peuvent être traitées par des électrochocs, ou que l'application d'un courant électrique peut déclencher une anesthésie générale. Il explore également le rôle des ions dans l'organisme. Mais ce sont les recherches qu'il mène depuis 1905 sur les formes de vie nées de la chimie qui le passionneront jusqu'à sa mort, en 1939.

La vie dans la matière

Pour Leduc, la vie est « une forme particulière du mouvement de la matière, un ensemble harmonique de mouvements de liquides comme une manifestation des mêmes énergies moléculaires qui animent la matière non vivante ». En d'autres termes, « toute la matière a la vie en soi, à l'état actuel ou à l'état potentiel ». Partant de là, il propose de produire expérimentalement des structures minérales semblables aux structures du vivant. Au cours des XVII^e et XVIII^e siècles, des expérimentateurs comme Érasme Bartholin (1625-1698) et Louis Lémery (1677-1743) avaient déjà créé des « végétations chimiques ». Par exemple, les premiers « arbres de Diane » ont été produits par l'ajout d'acide nitrique sur de l'argent métallique puis introduction d'une goutte de mercure. Mais Leduc est le premier à avoir réfléchi à la production de formes ressemblant à celles du vivant.

En effet, depuis l'Antiquité, un dogme – le vitalisme – se perpétue : l'origine de la vie, ou ce qui sépare les êtres vivants de la matière inerte, réside dans l'existence d'une force vitale. Pourtant, les chimistes ont montré qu'il est possible de synthétiser, à partir de composés minéraux, des substances organiques, jusqu'alors exclusivement produites par les êtres vivants. Cela contredit la théorie vitaliste. Ainsi, en 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler (1800-1882) a-t-il synthétisé un produit naturel organique, l'urée, par le traitement de l'isocyanate de plomb par du chlorure d'ammonium, deux produits inorganiques ; et un nombre considérable de molécules naturelles ont été synthétisées à partir de composés inorganiques dès les années 1850.

Dans ce contexte où la synthèse chimique semble pouvoir tout accomplir – c'est ce



JARDIN CHIMIQUE obtenu par les auteurs à partir de cristaux de chlorure de cobalt déposés dans une solution de silicate de sodium.

que proclame le Français Marcellin Berthelot (1827-1907), en 1984, à l'occasion d'une conférence intitulée « En l'an 2000 » –, et où le vitalisme perd du terrain, les expériences de Leduc ont un écho retentissant. Elles éclairent la nature et l'origine de la vie en venant combler le fossé théorique qui séparait jusqu'ici le vivant du non-vivant, en proposant une nouvelle version du « chaînon manquant » entre inorganique et organique.

La fin du vitalisme

Selon E. Fox Keller, « les modèles de Leduc répondaient à un besoin qui était largement ressenti à son époque, même s'il ne l'est plus à la nôtre : ils démontraient que des formes complexes (comparables en complexité à celles que l'on trouve dans le monde vivant) pouvaient être engendrées par des processus physiques et chimiques bien identifiés. » Parallèlement à l'Écossais D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948), Leduc contribuait ainsi à déraciner les vestiges du vitalisme. De plus, Leduc s'inscrit clairement dans le courant évolutionniste. « Sans l'idée de génération spontanée et sans une théorie physique de la vie, la doctrine de l'évolution est une hypothèse mutilée sans unité ou cohésion », écrit-il dans la conclusion de *Théorie physico-chimique de la vie*.

LES AUTEURS



Richard-Emmanuel EASTES, chimiste, travaille au Département d'études cognitives (TRACES - Les Atomes Crochus) de l'École normale supérieure, à Paris, et au Laboratoire de didactique et épistémologie des sciences de l'Université de Genève.

Clovis DARRIGAN est chercheur au laboratoire de chimie théorique et physico-chimie moléculaire de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Xavier BATAILLE est professeur à l'École nationale de chimie, physique et biologie (ENCPB), à Paris.



CROISSANCE OSMOTIQUE produite par Leduc à l'aide d'un mélange de chlorure de calcium et de chlorure de manganèse dans une solution de carbonates, de phosphates et de silicates.

Comment expliquer alors que Leduc soit oublié ? En France, dès 1907, il rencontre des oppositions au sein de l'Académie des Sciences. Ses travaux, puisqu'ils suggèrent que la vie aurait pu naître à la faveur du simple contact entre substances chimiques, remettent en selle la théorie de la génération spontanée, qui postulait l'apparition naturelle d'organismes vivants à partir de substances inorganiques, et que Louis Pasteur avait anéantie en 1862. L'Académie juge cela impardonnable. En revanche, en Angleterre et aux États-Unis, les découvertes de Pasteur n'occupent pas en core suffisamment de place pour faire obstacle aux assertions de Leduc, et celles-ci se trouvent largement relayées dans la presse scientifique anglosaxonne entre 1905 et 1913.

D'autres contestations de ses idées émergent dès la publication de ses travaux. En 1907, le philosophe Henri Bergson (1859-1947) écrit dans son *Évolution créatrice* : « Ceux qui ne s'occupent que de l'activité fonctionnelle de l'être vivant sont portés à croire que la physique et la chimie nous donneront la clef des processus biologiques. Ils ont surtout affaire, en effet, aux phénomènes qui se répètent sans cesse dans l'être vivant, comme dans une cornue. Par là s'expliquent en partie les tendances mécanistiques de la physiologie. Au contraire, ceux dont l'attention se concentre sur la fine structure des tissus vivants, sur leur genèse et leur évolution, histologistes et embryogénistes d'une part, naturalistes de l'autre,

sont en présence de la cornue elle-même et non plus seulement de son contenu. »

Vingt ans plus tard, Edouard Leroy (1870-1954), professeur au Collège de France, est plus incisif : « On n'a pas imité la vie, même de loin [...]. Qu'il me suffise de dire que ce sont des effets d'osmose [n'ayant] guère plus de signification dans le problème qui nous occupe, que les fleurs ou ramures de glace dessinées sur les carreaux d'une fenêtre, un jour d'hiver. » Et lorsque

IL EST PARFOIS DIFFICILE de ne pas croire à la présence de vie dans les jardins chimiques.

Alexandre Oparine (1894-1980) cite Leduc, en 1936, dans son *Origine de la vie*, c'est pour noter que la parenté entre ces productions et les cellules vivantes n'est « pas plus grande que la ressemblance superficielle entre une personne vivante et sa statue de marbre ». Les idées de Leduc finissent par être balayées par la convergence des nouvelles connaissances issues de la chimie, de l'astronomie et de la génétique.

Un héritage à reconsidérer

À la décharge de Leduc, il faut admettre qu'il est parfois difficile de ne pas croire à la présence de vie dans les jardins chimiques. Quoi de plus fascinant, en effet, que ces structures d'allures si proches des éléments naturels et des formes de vie, qui se forment sous nos yeux en quelques dizaines de minutes ? La facilité avec laquelle se développent les structures tubulaires, en forme de coquille ou de coraux a de quoi surprendre... Faute de disposer de nos connaissances sur la nature des phénomènes biologiques, Leduc était fort logiquement enclin à trouver un aspect naturel à ces « générations spontanées ».

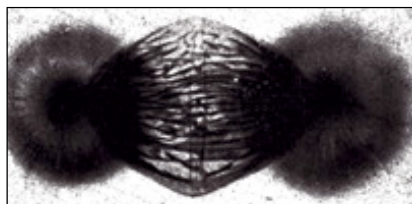
Que reste-t-il aujourd'hui de ses travaux ? Force est de constater que la vie scientifique de Leduc a laissé peu de traces dans la recherche contemporaine, malgré la renaissance récente d'une forme moderne de biologie synthétique, discipline où convergent

Recette pour jardin chimique

Avant toute chose, mettez des gants et des lunettes de protection ! Dans un bécher, diluez la moitié d'une solution concentrée de silicate de sodium dans un volume identique d'eau distillée. Filtrez-la sur papier filtre si elle est troublée par des particules en suspension. Dans les minutes qui suivent, versez-la dans un récipient en plexiglas parfaitement propre, sur une hauteur de 10 à 15 centimètres. Laissez reposer quelques minutes. Puis introduisez à l'aide d'une cuillère ou d'une spatule du sulfate de nickel (NiSO_4), puis d'autres petits cristaux de sels métalliques : sulfate de cuivre (CuSO_4), nitrate de nickel ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$), chlorure de fer (FeCl_3), chlorure de cobalt (CoCl_2), sulfate de magnésium (MnSO_4), etc. Vous obtiendrez en une trentaine de minutes une somptueuse forêt chimique.

Plus d'informations :

http://www.scienceamusante.net/wiki/index.php?title=Les_jardins_chimiques



« FUSEAU MITOTIQUE » produit par Leduc avec de l'eau salée, une goutte d'eau pigmentée de sang ou d'encre de Chine à laquelle on ajoute une goutte de solution très salée et pigmentée.

la biologie, les biotechnologies, la génomique, la chimie et la bio-informatique et dont l'objet est la création *de novo* de systèmes biologiques fonctionnels. Il en va souvent ainsi : lorsque la science « véritable » se saisit de questions jusqu'alors reléguées dans des domaines qualifiés de « parascientifiques », elle le fait table rase de toutes les interprétations préexistantes, fussent-elles avoir été invoquées des siècles durant.

On retrouve cependant le nom de Leduc dans quelques études portant sur la production de matériaux inorganiques qui reproduisent des structures d'organismes vivants, ou concernent la recherche de traces de vie fossiles ou extraterrestres. De plus, la compréhension des phénomènes physico-

chimiques en jeu dans la création des jardins chimiques conduit à des applications pratiques : par exemple, l'analyse de la fabrication des pigments verts à base de silicates de fer et de magnésium – la « terre verte » – qu'employaient volontiers certains grands peintres, comme Vermeer ; ou l'étude des réactions produites dans les panaches d'eau chaude et sulfurée, ou « fumeurs noirs », formés sur les dorsales océaniques.

Malgré les erreurs évidentes de Leduc, nous pensons qu'en rompant avec le vitalisme et en démontrant la capacité de la matière à produire spontanément de la complexité, il aura contribué, avec d'autres scientifiques, comme d'Arcy Thompson, à faire concevoir la vie comme relevant de mécanismes physico-chimiques. Sans doute faut-il le juger à la lumière de cet apport particulier, sans oublier son étonnante habileté expérimentale. Citons encore Evelyn Fox Keller : « Les ambitions que reflètent ces efforts, ainsi que l'intérêt qu'ils ont suscité à l'époque, représentent un épisode de l'histoire de l'explication biologique et sont instructifs, exactement à proportion de ce qui peut nous paraître aujourd'hui comme leur absurdité. »

UN DÉTAIL D'UNE VÉGÉTATION CHIMIQUE obtenue par les auteurs en faisant réagir du

.....

4 BIBLIOGRAPHIE

S. Leduc, *La biologie synthétique, étude de biophysique*, A. Poinat, Paris, 1912.
www.peiresc.org/bstitre.htm

S. Leduc, *La croissance osmotique*, Association française pour l'avancement des sciences, Lille, 1909, Notes et mémoires, p. 205.
<http://gallica2.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k201207x>

S. Leduc, *The Mechanism of Life*, William Heinemann, London, 1911.
<http://www.archive.org/details/mechanismoflife029804mbp>

E. Fox Keller, *Expliquer la vie : Modèles, métaphores et machines en biologie du développement*, Gallimard, 2004.

V. Fleury, *Arbres de Pierre*, Flammarion, 1998, p. 57.

R e g a r d s
