



MENDELEÏEV

*et la découverte
de la loi périodique*

Jonathan Tennenbaum nous offre un aperçu de la méthode du savant russe qui bouleversa avec audace le corps de connaissances existant dans la chimie. En effet, Mendeleïev rejeta la supposition axiomatique centrale qui dominait dans l'enseignement et la pratique de la chimie : l'élémentarité des éléments.

Ce texte est une adaptation d'une conférence donnée en février 1994.

A bordons dans un premier temps le paradoxe apparent causé par l'existence de deux approches opposées, contradictoires, de la connaissance. L'une consiste à « trouver la bonne réponse », comme si nous étions tous d'éternels écoliers, la « bonne réponse » en question se trouvant dans les livres de classe qui font autorité. Tout ce qui contredit ces connaissances, doit être considéré comme « faux ».

La deuxième conception de la vérité consiste à mesurer celle-ci par rapport à l'existence continue de l'homme sur la Terre. C'est la vérité mesurée au grand laboratoire de l'histoire humaine, passée, présente et future. Nous jugeons de la véracité de notre façon de penser en déterminant si les sociétés qui l'utilisent ont pu ou non maintenir et améliorer leur existence — avec cette réserve que ce qui paraît un succès à court terme peut mener au désastre un peu plus tard.

Ces deux critères de la connaissance sont contradictoires. Car l'histoire nous montre que l'homme, pour pouvoir continuer à assurer son existence, a dû constamment réviser ses connaissances, souvent de manière révolutionnaire. Ce qui était la « bonne réponse » avant ne l'était plus après ; on supprime des chapitres entiers de connaissances scolaires, présentées auparavant comme irréfutables. Sans opérer ces révolutions, l'homme n'aurait pas progressé.

Nous devons toutefois mettre en garde contre le piège de l'empirisme britannique. Cette école admet également que les connaissances changent, mais seulement dans le sens d'un ajout de faits nouveaux ou de la correction des faits existants en fonction de ce que nous apprennent nos perceptions. Pourquoi ai-je parlé de piège ? Parce que cette école ne reconnaît pas le changement des suppositions sous-jacentes, des axiomes à la base des connaissances. Sa deuxième erreur, c'est de dire que les connaissances sont basées sur les perceptions sensorielles. Or celles-ci sont toutes évaluées par l'esprit en fonction des idées déjà présentes en lui. Et ces idées ne relèvent pas des perceptions et ne sont pas changées par elles. Aucune idée ne vient de l'extérieur (contrairement aux faits), elles sont toutes créées dans l'esprit même de l'individu.

Pour illustrer ce point, je propose que nous considérions le phénomène des découvertes scientifiques fondamentales et leur relation au progrès de l'existence humaine.

J'ai choisi comme exemple le grand savant russe, Dimitri Mendeleïev (1834-1907), qui est surtout connu pour la découverte de ce qu'il appelait lui-même la loi périodique des éléments chimiques. On pourrait peut-être le désigner plus correctement comme le système naturel des éléments chimiques. Le tableau périodique est simplement la présentation formelle du résultat de ce système naturel. Cette découverte a joué un rôle absolument crucial dans l'énorme accroissement des pouvoirs productifs de l'homme au cours du dernier siècle.

Par ailleurs, Mendeleïev est une personne fascinante car il incarne les qualités universelles du savant dans le sens positif d'un homme de science tout entier dévoué à l'amélioration de sa nation et du monde.

Ce qui suit n'est pas un cours de chimie, et nous ne nous encombrons pas de détails chimiques. En fait, nous nous intéresserons plus particulièrement aux aspects cruciaux du processus de la découverte de Mendeleïev.

Axiomes de la chimie physique

Au moment où Dimitri Mendeleïev commença ses travaux scientifiques en 1855, la notion de l'élément était l'axiome fondamental de la chimie. Cette notion est associée à l'idée qu'on ne peut pas différencier ou décomposer *indéfiniment* une substance sans se heurter à une espèce de limite ou de « singularité ».

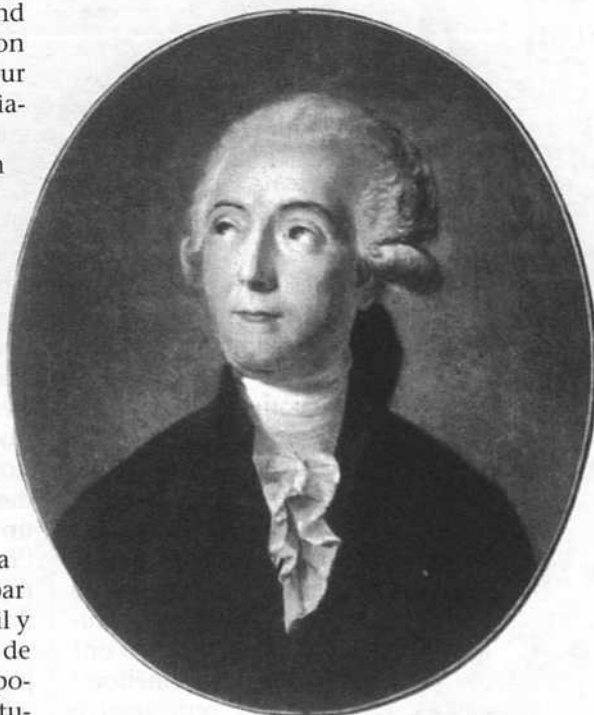
A l'époque de Mendeleïev, on explorait ce domaine essentiellement par les méthodes de séparation chimique connues par ceux qui ont eu le bonheur — ou peut-être le malheur — de faire des expériences au lycée : la distillation, la précipitation, l'électrolyse, la centrifugation, etc. En gros, on prend une substance quelconque et on tente par divers procédures d'induire une séparation ou une différenciation en deux substances ou plus, chacune ayant des caractéristiques distinctes. L'électrolyse permet, par exemple, de réduire l'eau en hydro-

gène et en oxygène. Ensuite, on prend chacune des deux substances et on recommence le même processus pour tenter d'arriver à l'ultime différenciation de la matière.

Par cette méthode d'exploration par tâtonnement, les chimistes arrivèrent en effet, comme prévu, à une limite — ce sont les « corps simples » ou les éléments qui ne se laissent plus réduire. Un certain nombre d'entre eux avaient été identifiés depuis l'Antiquité : le fer, le cuivre, l'étain, le plomb, le mercure, l'or, l'argent, le soufre et le carbone. Environ cinq autres furent découverts pendant le Moyen Age, puis à partir des années 1740, à l'époque de la révolution industrielle inspirée par les travaux antérieurs de Leibniz, il y eut un développement fulgurant de la chimie physique, si bien qu'à l'époque où Mendeleïev terminait ses études à l'institut pédagogique de Saint Pétersbourg, on connaissait déjà 64 éléments.

Notons cependant qu'il existe diverses hypothèses contradictoires sur la nature des éléments. L'école empiriste anglaise défend l'idée si souvent répandue dans l'éducation aujourd'hui, que les éléments représentent les pierres angulaires de matière ultimes, incassables, un peu comme les petits cubes que les bébés commencent par empiler. Le grand chimiste Lavoisier, au contraire, lorsqu'il recherchait les principes de génération de la matière, adopta l'approche plus mature selon laquelle les éléments constituent des *singularités*, ou des moments de changement dans le monde chimique. Il soulignait que les méthodes de séparation chimique dépendaient du niveau technologique. Ce qui paraît être un élément ou une substance indivisible aujourd'hui peut devenir divisible demain s'il y a une révolution dans la technologie. C'est ce qui se passa grâce, en grande partie, aux travaux de Mendeleïev.

Il faut bien comprendre que l'idée de l'école britannique des « petits cubes » ou, diront certains, des petites billes dures, est un axiome fondamental. On ne peut le réfuter par une quelconque expérience ou fait expérimental. Si on réussit à séparer ce qui semblait être un élément, ils diront : « Ah, oui, nous nous sommes trompés dans les faits ; en réalité, cet élément est composé de billes irréductibles plus petites et plus dures, qui



Le grand chimiste Lavoisier (1743-1794), lorsqu'il recherchait les principes de génération de la matière, adopta l'approche selon laquelle les éléments constituent des singularités, ou des moments de changement dans le monde chimique.

Il soulignait que les méthodes de séparation chimique dépendaient du niveau technologique. Ce qui paraît être un élément ou une substance indivisible aujourd'hui peut devenir divisible demain s'il y a une révolution dans la technologie.

font partie, elles, des premiers matériaux de la construction ». C'est un processus qui mène aux quarks et à des choses semblables, qui mène en définitive à la folie...

Mais la conception de Lavoisier pose en soi un paradoxe utile. Et dans la science, il ne faut jamais éviter les paradoxes, car là où il y a paradoxe, il y a découverte potentielle. A partir du moment où nous essayons de définir un ensemble de principes individuels distincts gouvernant un domaine quelconque, disons le domaine chimique, nous ne pouvons plus — à partir de ces mêmes principes — expliquer leur existence, leur multitude ou les relations entre eux. Donc, nous avons les éléments mais nous ne pouvons pas dire pourquoi ils existent et pourquoi leurs propriétés sont telles ou telles.

Ce paradoxe fut mis en évidence par la découverte d'un nombre toujours croissant d'éléments. Jusqu'en 1860, il y eut accumulation rapide et accélérée du matériel empirique dans le monde de la chimie, créant un « mauvais infini » pour emprunter l'expression de Cantor. A cette date, un groupe de scientifiques autour de Justus Liebig et de Kekule organisèrent une conférence à Karlsruhe, en Allemagne, dans le but de mettre fin à ce « mauvais infini » et d'introduire de nouvelles hypothèses en chimie. Ainsi, des conceptions développées par Ampère entre autres, notamment la notion d'espèce de singularités,

trouvèrent leur place dans la chimie à partir de cette conférence, à laquelle assistait Mendeleïev.

La découverte de Mendeleïev

Professeur, Mendeleïev était irrité par l'état de la chimie et se demandait s'il pouvait vraiment la présenter comme une science. Il eut un jour le commentaire suivant : « *La simple accumulation de faits, même quand la collection est extrêmement vaste (...) ne constitue pas une méthode scientifique. Elle ne fournit pas une direction pour les découvertes ultérieures et ne mérite même pas le nom de science dans le sens plus élevé de ce terme. La cathédrale de la science exige non seulement du matériel mais aussi une conception et une harmonie (...) une conception de la composition harmonique des parties et qui indique le chemin par lequel on générera le plus fructueusement du nouveau matériel.* »

Ainsi, depuis le tout début, l'objectif de Mendeleïev n'était pas de trouver une simple classification ou systématisation des données, comme on a tendance à le présenter dans l'enseignement aujourd'hui. Non, il cherchait un principe et une méthode de découverte. Il cherchait aussi une méthode d'organisation des progrès de la science et la technologie, et ce dans la direction de ce que l'on

appelle un principe héréditaire.

L'approche de Mendeleïev à ce problème était différente dans la mesure où il insistait sur l'individualité de chaque élément. Mendeleïev soulignait la différence cruciale qui existe entre la notion du discret, qui est une notion mathématique, et la notion d'individualité, qui est associée à la monade de Leibniz. Il n'existe pas dans le domaine chimique de continuité simple du type de celle que nous associons au mouvement continu dans l'espace visuel. La chimie, dit Mendeleïev, est un domaine expérimental où est reflétée l'action de quelque chose qui modifie les propriétés ordinaires de l'espace et impose une caractéristique qui apparaît comme des « sauts » discontinus dans les propriétés apparentes lorsque nous passons d'un élément au suivant.

Par conséquent, on ne peut pas le décrire par une fonction mathématique continue ou ordinaire, nous devons utiliser ce que Leibniz appelle la méthode d'*analysis situ*. C'est la reconnaissance de la discontinuité entre eux, ou autrement dit, de leur individualité, qui permet à Mendeleïev de découvrir la loi périodique.

Voyons brièvement comment il y parvint. Avant Mendeleïev, les chimistes avaient surtout considéré les ressemblances ou les analogies entre éléments (**Figure 1**). Un exemple : le groupe d'éléments appelés halogènes, composé du fluor, du chlore, du brome et de l'iode, qui ont des propriétés chimiques semblables. Et les métaux alcalins — sodium, potas-

Figure 1

Groupes d'éléments

Halogènes F - Cl - Br

Métaux alcalins Na - K - Rb

sium, rubidium — ont également des propriétés chimiques semblables. Mais les propriétés des deux groupes — halogènes et métaux alcalins — sont tout à fait différentes. Pour saisir le sens de l'individualité des éléments, il faut travailler dans le développement de la chimie.

Mendeleïev avait déjà commencé à étudier du point de vue géométrique la notion des groupes naturels d'éléments. Il examina l'isomorphisme des cristaux, le fait que l'on puisse remplacer des éléments dans un cristal par ceux provenant d'un groupe similaire, sans perdre la forme du cristal. Ensuite, on peut observer les sauts, ou les changements de structure des cristaux qui caractérisent les différents groupes d'éléments.

Mendeleïev fut en fait le premier chimiste à ne pas examiner seulement les similitudes mais à y juxtaposer les dissimilitudes, à la façon de l'*analysis situ* de Leibniz. Il compara cela avec l'ordonnement relatif des éléments en fonction de leur poids atomique. Il en résulta un ordonnement paradoxal et ironique des élé-

ments selon la croissance du poids atomique.

Cela ne donna pas une relation mathématique algébrique nette. Mais Mendeleïev trouva ce qu'il cherchait. Il changea en fait sa façon de penser pour dire que les éléments eux-mêmes ne sont pas élémentaires, mais le système l'est. C'est l'ordonnement du système dans son ensemble qui doit constituer la notion d'élémentarité. Ce changement de la notion d'élémentarité était fondamental. L'ayant compris, il pourra développer le système périodique.

Dans le laboratoire

L'un de ses amis nous a légué un témoignage sur Mendeleïev, au moment où il se débattait pour formuler en une loi explicite tout son matériel sur la chimie. Un jour, l'ami passe le voir dans son bureau, et il constate que Mendeleïev (la chevelure ébouriffée à la Beethoven) est dans un état d'anxiété et d'épuisement. « Sur quoi travaillez-vous ? », demande-t-il. Le savant explique qu'il a découvert l'existence d'un système d'éléments périodique mais n'est pas encore parvenu à formuler la loi et le tableau. « Tout commence à prendre forme dans ma tête, mais je ne peux pas l'exprimer. »

Après trois jours et trois nuits de concentration ininterrompue, Mendeleïev produisit enfin sa loi périodique et le célèbre tableau qui porte son nom. Il écrira plus tard à propos de ce processus : « Est née involontairement la pensée qu'il devait y avoir un rapport entre la masse et les éléments chimiques ; et comme la masse des corps matériels, même si elle ne constitue pas une grandeur absolue mais seulement relative, qui s'exprime ultimement sous forme d'atomes — pour ces raisons, il fallait chercher une relation fonctionnelle entre les caractéristiques individuelles des éléments individuels, et leur poids atomique. J'ai écrit sur une collection de fiches les noms des éléments, avec leur poids atomique et leurs propriétés cruciales, et j'ai commencé à les classer suivant des éléments similaires et des poids atomiques proches. Ayant fait cela, j'en suis arrivé à la conclusion que les propriétés des éléments devaient être une fonction périodique du poids atomique. Bien que j'aie eu de nombreux doutes sur des détails qui n'étaient pas



Le grand chimiste allemand, Justus von Liebig, dans son laboratoire. Il organisa avec son ami Friedrich Kekule une conférence à Karlsruhe, afin d'émettre de nouvelles hypothèses en chimie. Dimitri Mendeleïev y participa.

clairs, je ne doutais pas un instant que la conclusion générale était correcte. »

Mendeleïev prit alors les groupes d'éléments, séparés les uns des autres par des sauts, et les ordonna, faisant ainsi apparaître la relation périodique. Cette découverte devait lui servir à réorganiser complètement et à corriger les données de la chimie. Autrement dit, c'est l'acte de la découverte, et non sa forme littérale, qui constitue l'axiome élémentaire supérieur de la réorganisation de toutes les connaissances. Par conséquent, Mendeleïev soulignait que cette nouvelle élémentarité était universelle et que tous les éléments chimiques existants ou qui restaient à découvrir, devaient s'y conformer, sans exception.

Nous avons mentionné plus tôt que Mendeleïev ne trouva pas d'expression mathématique claire de sa loi. Au contraire, une grande partie des meilleures données expérimentales de l'époque contredisait sa loi périodique. Dans une vingtaine de cas, le poids atomique qui leur était habituellement attribué les aurait mis à une place incorrecte sur le tableau, de façon à ce qu'ils contredisent le système.

Que fit Mendeleïev ? Au lieu de regretter que sa loi ne correspondît pas aux données, il reconnut la primauté de la découverte et présuma fausses les données. Il changea alors les poids atomiques des éléments gênants, qui avaient pourtant été mesurés par les meilleurs chimistes avec le meilleur équipement, afin de les insérer à la place que leur dictait la loi. Ce fut le tollé dans la communauté des chimistes : changer les données expérimentales pour établir une

loi théorique était un sacrilège ! Mais il se trouve que Mendeleïev avait raison dans chacun des cas. En outre, si vous regardez le dessin original du tableau de Mendeleïev (**Figure 2**), vous remarquerez deux points d'interrogation à la droite de l'aluminium et du silicium. Il y en avait un troisième près du bore. C'étaient des « trous » — des anomalies — dans le système. Etant donné l'universalité de la loi, Mendeleïev supposa que des éléments seraient découverts correspondant à ces propriétés. Il utilisa le mot sanscrit *eka*, qui veut dire « le suivant », pour nommer les éléments non encore découverts : *ekaaluminium* et *ekasilicium*. Moins de dix ans après la publication par Mendeleïev de la description des propriétés que ces éléments devaient avoir, ils furent découverts. En 1875, un Français découvrit l'*ekaaluminium* et le baptisa *gallium* ; en 1879, un Suédois trouva l'*ekabore* et le nomma *scandium* ; puis, en 1886, le *germanium* fut découvert par un Allemand.

En poursuivant les implications de la découverte de Mendeleïev, nous arrivons à celles du domaine astrophysique qui sont déjà implicites dans l'universalité de la loi qu'il énonça, c'est-à-dire que nous avons devant nous, implicitement, un processus de génération des éléments. Non pas une évolution de type darwinien mais, pourrait-on dire rétrospectivement, de type vernadskien.

Prenons un exemple. Sur la forme moderne du système périodique, certains éléments sont en gris (**Figure 3**). Ces éléments n'étaient pas connus à l'époque de Mendeleïev, y compris toute la colonne de droite avec les gaz rares. Les éléments radioactifs

sont également indiqués. En effet, la découverte de la radioactivité, et en particulier les recherches de Pierre et Marie Curie, devaient beaucoup aux travaux de Mendeleïev.

Puis on commença à générer de plus en plus d'anomalies et tout un monde nouveau s'ouvrit. Le système périodique fut élargi dans la dimension des isotopes, mais de manière cohérente. Cela mena aussi à la découverte de la fission nucléaire de manière tout à fait légitime. En effet, le système périodique semble prendre fin à l'uranium, qui était l'élément le plus lourd connu jusque dans les années 30. C'est une anomalie du système. On chercha alors à générer des éléments plus lourds que l'uranium et que se passa-t-il ? Eh bien, le système périodique répondit à cette tentative par la fission et l'on obtint la fission nucléaire.

Nous pouvons, bien sûr, générer des éléments plus lourds et nous pouvons élargir de diverses façons le système. Mais pour ce faire, il faut entrer dans d'autres modes. Nous ne pouvons pas l'élargir en restant dans le même mode. Le système périodique, dans la conception de Mendeleïev, n'est pas une classification d'éléments mais une méthode de découverte et d'expansion continue.

Considérons maintenant l'axiomatique de ce que fit Mendeleïev.

La méthode

Tout d'abord, Mendeleïev n'arriva pas à son hypothèse en suivant un raisonnement inductif à partir de données empiriques. Autrement dit, il ne remarqua pas de « schéma particulier », qui est la façon dont les empiristes expliquent la découverte scientifique en général. Au contraire, il commença par *rejeter délibérément la supposition axiomatique centrale* qui dominait dans l'enseignement et la pratique de la chimie. Il n'accepta pas l'élémentarité des éléments. Pour lui, l'élémentarité était implicitement située dans le principe de génération de tous les éléments, y compris ceux non encore découverts, idée qu'il allait exprimer plus tard explicitement dans la loi périodique.

Deuxièmement, ce ne fut qu'après l'acte initial d'intuition que Mendeleïev se jeta dans la masse des données incomplètes et contradictoires

Figure 2

Typische Elemente

II = 1	Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85	Cs = 133	—	—
	Be = 9,4	Mg = 24	Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137	—	—
	B = 11	Al = 27,3	—	?Yt = 88?	?Di = 138?	Er = 178?	—
	C = 12	Si = 28	Ti = 48?	Zr = 90	Co = 140?	?La = 180?	Tb = 231
	N = 14	P = 31	V = 51	Nb = 94	—	Ta = 182	—
	O = 16	S = 32	Cr = 52	Mo = 96	—	W = 184	U = 240
	F = 19	Cl = 35,5	Mn = 55	—	—	—	—
			Fe = 56	Ru = 104	—	Os = 195?	—
			Co = 59	Rh = 104	—	Ir = 197	—
			Ni = 59	Pd = 106	—	Pt = 198?	—
			Cu = 63	Ag = 108	—	Au = 199?	—
			Zn = 65	Cd = 112	—	Hg = 200	—
			—	In = 113	—	Tl = 204	—
			As = 75	Sn = 118	—	Pb = 207	—
			Sb = 122	—	—	Bi = 208	—
			Se = 78	Te = 125?	—	—	—
			Br = 80	J = 127	—	—	—

Figure 3

	IA																0	
1	H 1																He 4	
2	Li 6,9	Be 9											B 10,8	C 12	N 14	O 16	F 19	Ne 20
3	Na 23	Mg 24,3											Al 27	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5	Ar 39,9
4	K 39,1	Ca 40,1	Sc 45	Ti 47,9	V 50,9	Cr 52	Mn 54,9	Fe 54,9	Co 58,9	Ni 58,7	Cu 63,5	Zn 65,4	Ga 69,7	Ge 69,7	As 74,9	Se 79	Br 79,9	Kr 83,8
5	Rb 85,5	Sr 87,6	Y 88,9	Zr 91,2	Nb 92,9	Mo 95,9	Tc 98	Ru 101,1	Rh 102,9	Pd 106,4	Ag 107,9	Cd 112,4	In 114,8	Sn 118,7	Sb 121,8	Te 127,6	I 126,9	Xe 131,3
6	Cs 132,9	Ba 137,3	*La 138,9	Hf 178,5	Ta 181	W 183,9	Re 186,2	Os 190,2	Ir 192,2	Pt 195,1	Au 197	Hg 200,6	Tl 204,4	Pb 207,2	Bi 209	Po (210)	At (210)	Rn (222)
7	Fr (223)	Ra 226	**Ac (227)	K 104	Ha 105													

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140,1	140,9	144,2	(147)	150,4	151,9	157,3	159	162,5	164,9	167,3	168,9	173,0	175
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
232	231	238	237	(244)	(243)	247	(247)	(251)	(254)	(257)	(256)	(255)	(256)

et, suite à un *effort prométhéen*, il finit par mettre en lumière le principe qui, il le savait, devait y être.

Troisièmement, sa découverte créa un nouveau système de connaissances scientifiques dans le domaine de la chimie. En comparant ce nouveau système à celui qui existait auparavant, nous trouvons la relation caractéristique de toute découverte scientifique. Le nouveau système retient toutes les connaissances utiles de l'ancien — rien n'est « jeté » — mais les redéfinit et les corrige d'un point de vue supérieur. Ce qui permet aussi de comprendre nombre d'anomalies de l'ancien système.

De même, il n'est pas possible de passer du système inférieur au supérieur par un raisonnement inductif ou déductif, par exemple, en ajoutant constamment d'autres données au premier. Pour passer de l'un à l'autre, il faut rejeter l'axiome central du premier pour le remplacer par un autre. Cela implique une rupture totale, une discontinuité, entre les deux. L'autorité de l'ancien système est brisée, et une nouvelle est établie. Les compromis ne sont pas possibles. Pour illustrer ce point, prenons le cas du chimiste allemand Lothar Meyer,

qui aurait découvert indépendamment de son côté le tableau périodique mais qui ne comprit pas, à mon avis, l'essence révolutionnaire de la découverte de Mendeleïev.

Meyer créa un tableau périodique de prime abord similaire, mais en utilisant un raisonnement inductif, sans défier les axiomes de l'ancien système. Par conséquent, il ne corrigea pas les fausses valeurs de poids atomiques et ne prédit pas l'existence de nouveaux éléments. Au contraire, il accusa Mendeleïev de se livrer à des spéculations fantaisistes. Meyer ne comprit pas la source de l'autorité intérieure de Mendeleïev, qui permit à ce dernier d'affirmer qu'il n'y avait pas d'exceptions au système naturel.

Donc, si les deux tableaux ont une certaine similitude formelle, le déclenchement de la multitude de découvertes scientifiques qui s'ensuivit est sans aucun doute la conséquence des travaux de Mendeleïev.

Comment Mendeleïev savait-il qu'il avait raison avant de l'avoir prouvé dans les faits ? Quelle fut en effet son autorité intérieure ? Voici le prochain paradoxe que nous allons aborder.

Il s'agit d'un paradoxe dans la mesure où on ne peut le résoudre en nous limitant au cadre immédiat de Mendeleïev. Il faut se situer dans l'histoire et juxtaposer ce que fit Mendeleïev à d'autres découvertes fondamentales relevant du même principe ou équivalence.

Autrement dit, nous ne considérons plus la découverte individuelle comme élémentaire, mais nous nous tournons vers la réalité, plus élémentaire, de la pensée humaine qui a formé une unité d'actes de découverte.

Découvertes fondamentales

Dans ce but, nous allons sommairement passer en revue une série de découvertes fondamentales.

La première est celle de Nicolas de Cuse sur la singularité séparant le cercle et le monde supérieur de l'action circulaire du monde linéaire des polygones inscrits dans le cercle (**Figure 4**). En augmentant sans cesse le nombre de côtés du polygone, on peut arriver de plus en plus près à la

circconférence du cercle, mais sans jamais l'égaliser. Cette découverte contribua au lancement de la Renaissance.

La deuxième découverte fut la conceptualisation de l'ordonnement géométrique des processus vivants et la définition de la distinction irréductible entre processus vivants et non vivants. Cette découverte se retrouve dans les travaux de Léonard de Vinci et Pacioli.

Troisièmement, Johannes Kepler fonda une physique et une astrophysique sur la notion du champ quantique (c'est le terme utilisé aujourd'hui). Ceci lui permit de découvrir le principe d'ordonnement universel des orbites planétaires et, plus extraordinaire encore, d'affirmer qu'il devait exister une autre planète dans une place légitimement déterminée par son système. (On repense à Mendeleïev.)

Quatrièmement, la compréhension par Christian Huygens des implications d'une vitesse de la lumière relativement constante ainsi que le développement du domaine géométrique des fonctions non algébriques par Huygens, Leibniz, Bernoulli, etc.

Ensuite, les travaux d'Ampère dans le domaine des géométries dites sans force, qui furent à l'origine de l'électrodynamique moderne et d'une révolution technologique. Ces idées, reprises par Gauss et Weber, jouèrent

un rôle dans la conférence de Karlsruhe de 1860 et influencèrent Mendeleïev.

La découverte du savant russe se situe bien sûr dans cette série, dont je mentionnerai un dernier exemple : la découverte par Max Planck d'une hypothèse osée et révolutionnaire à l'époque, le quantum d'action.

J'avancerais que si nous étudions chacun de ces cas de la même manière que je l'ai fait avec Mendeleïev, nous trouverions une certaine congruence entre toutes les découvertes de cette série, bien que chacune reste une expérience tout à fait individuelle et unique. En outre, il y a ordonnancement entre elles.

On y arrive aisément en partant de la découverte de Cuse. Le monde des polygones inscrits dans le cercle est limité sur l'extérieur par quelque chose — le cercle — que ce monde ne pourra jamais atteindre, même si on multiplie les côtés à l'infini. Nous devons plutôt défier les axiomes du monde des polygones et les retravailler en adoptant l'action circulaire comme l'élément premier.

Ce qui est premier, c'est donc ce qui se situe pour ainsi dire dans la région entre les polygones et le cercle. Il est tout à fait légitime que toutes ces découvertes comprennent une ironie qui est reflétée par des géométries relevant de l'action circu-

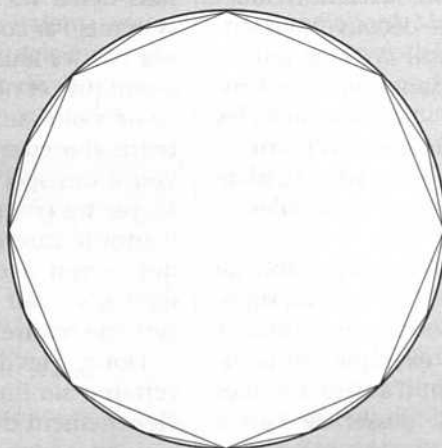
laire et des divisions de la sphère par des grands cercles, les harmoniques de la section d'or. L'expression de cette ironie revient comme un thème, reflétant ce qu'on peut appeler le langage naturel de l'univers de Dieu.

Il ne suffit cependant pas de mettre en évidence, de l'extérieur, cette congruence entre découvertes scientifiques. Ce faisant, on a seulement identifié la région ironique dans laquelle la véritable substance du processus se situe. Pour saisir cette substance, il faut revivre « l'instant lumineux d'intuition » qui habite pour ainsi dire l'espace entre le cercle et le monde des polygones.

Si nous considérons les grands découvreurs du passé, nous trouvons invariablement chez eux un processus spécial d'« apprentissage » de découvertes. Ce processus n'est pas forcément provoqué par une personne vivante, mais par une espèce d'intériorisation de l'activité de la découverte fondamentale faite par un ou plusieurs grands savants ou penseurs du passé. En revivant ce moment, on synthétise dans son propre esprit ce qui est, de génération en génération, la cause immédiate de la découverte scientifique fondamentale qu'on appelle l'hypothèse supérieure.

Dans le cas de Mendeleïev, je ne connais pas exactement le chemin de son apprentissage. Mais l'Institut pé-

Figure 4



*La cardinal Nicolas de Cuse (1401-1464).
Le monde des polygones inscrits dans le cercle est limité sur l'extérieur par quelque chose — le cercle — que ce monde ne pourra jamais atteindre, même si on multiplie les côtés à l'infini. Nous devons plutôt défier les axiomes du monde des polygones et les retravailler en adoptant l'action circulaire comme l'élément premier.*

dagogique central de Saint Pétersbourg, fondé en 1804 et influencé sans doute par les idées de Leibniz, de l'École polytechnique et des frères Humboldt, y contribua certainement. Cet Institut, qui formait les professeurs de lycées pour la Russie, regroupait des penseurs scientifiques extraordinaires dont le professeur de Mendeleïev, Voskresenski. Celui-ci avait fondé sa pédagogie sur ce qu'il appelait la bataille des idées en science.

En tout cas, une autre démonstration de l'hypothèse supérieure à la base des travaux de Mendeleïev est fournie par sa réaction à l'opération du physicien britannique Crookes qui, en 1886, défendait son hypothèse sur l'existence d'une forme primordiale de matière, le *protila*, qui se serait trouvé à l'origine de tous les éléments. C'était tout simplement une nouvelle version de la « matière primordiale » d'Aristote. Dans ses discours et ses essais, Crookes eut recours à deux arguments qui, malheureusement, paraissaient plausibles à de nombreux savants. La loi périodique de Mendeleïev, affirmait-il, indiquait une unité de toutes les formes de la matière ainsi qu'un processus d'évolution de la matière, parallèle à l'évolution des espèces animales. Etant donné que l'évolution procède du simple au complexe, tous les éléments devaient provenir d'une façon unique de la matière la plus simple.

Mendeleïev était furieux et attaqua violemment Crookes. Voici le récit de l'un de ses collègues : « *C'est étrange que Dimitri Mendeleïev proteste contre cette approche de Crookes, qui se fonde sur sa propre loi périodique. Je me rappelle très bien que (...) tous les trois — Dimitri Ivanovich, Stoletov et moi-même — nous avons débattu jusque tard dans la nuit la question qui préoccupait tout le monde, à cause des brochures de Crookes. Mettant en avant toutes ses objections, Dimitri Ivanovich, dont les fortes modulations de voix, bien connues, allant du plus bas des voix basses jusqu'aux tons hauts presque inchantables, indiquaient à l'interlocuteur qu'il se fâchait, a commencé à amener des arguments littéralement ad hominem. "Alexander Grigorevich ! Klementi Arkadiévich ! Je vous en prie. Vous êtes sûrement capable de reconnaître votre propre identité individuelle. Permettez donc aussi aux éléments cobalt et nickel d'avoir leur propre personnalité !" Nous nous sommes regardés et nous avons changé de sujet.* »

Quel est le fond du problème ? C'est le paradoxe de Parménide. On ne peut résoudre le problème de la réconciliation de l'Un et du Multiple, on ne peut expliquer l'existence de l'individualité, que du point de vue de l'hypothèse supérieure. Du point de vue donc de l'action qui nous fait traverser une série de révolutions scientifiques fondamentales, dont chacune passe par une discontinuité axiomatique, un « saut ». *Rien en-deça de ce type d'action* ne saurait être considéré comme une approche éventuelle de substance primordiale ou de substance tout court.

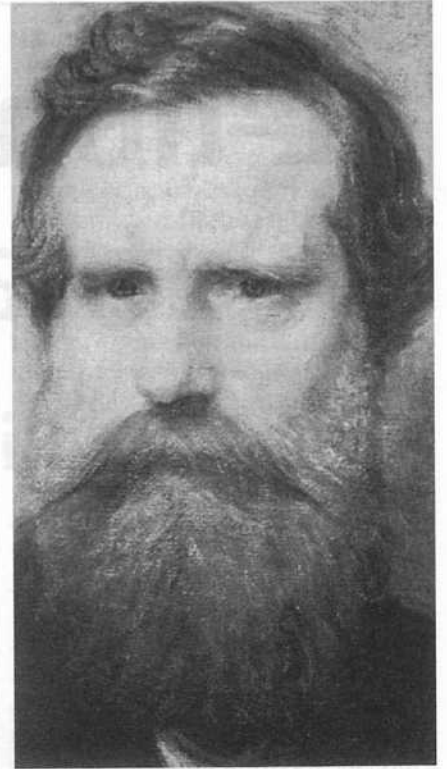
Si vous introduisez dans la science une espèce de substance fondamentale qu'on peut représenter comme un objet de l'imagination sensorielle — que ce soit des petites billes, des petits cubes, la soupe primordiale ou toute autre notion compatible avec un système axiomatique formel et figé — alors vous bloquez le processus de découverte scientifique, parce que l'esprit du scientifique est coincé dans le système axiomatique et il n'a plus accès à l'hypothèse supérieure.

La question de la preuve

Comment Mendeleïev savait-il d'avance que son hypothèse était vraie, avant même de l'élaborer ? La véracité d'une découverte individuelle réside essentiellement dans l'hypothèse supérieure qui l'a générée, et qui se réalise dans la « lumière de l'intuition » que nous avons décrite. Une hypothèse supérieure vraie ou relativement plus vraie se prouve dans l'économie physique, par ses effets sur le développement néguentropique de la société humaine, ici et dans un avenir potentiellement indéfini.

Ainsi l'histoire de ces 500 dernières années, depuis Nicolas de Cuse, marquée par la floraison de la créativité et la productivité humaines, nous confirme la supériorité ou la véracité relative de l'hypothèse supérieure à l'origine de ces découvertes.

Les travaux de Mendeleïev sont compatibles avec cette vue de l'économie physique. Sa vie s'étendit de la période de l'alliance russo-américaine des années 1860 jusqu'à la période de l'industrialisation relativement réussie de la Russie, grâce au comte Sergei Witte. Il se penchait au début de sa carrière sur la chimie agricole,



Sir William Crookes (1832-1919). Mendeleïev s'opposa vivement à son hypothèse de forme primordiale de la matière : le protila.

poursuivant plus loin l'œuvre de Liebig, créant des exploitations expérimentales, etc. Il contribua au développement de l'industrie pétrochimique de Bakou. Il se rendit aux Etats-Unis en 1876 pour célébrer le centenaire de Philadelphie. Il participa au développement industriel de l'Oural. Il rédigea des documents sur l'économie et un traité de 700 pages sur les tarifs douaniers, ce qui montre qu'il avait étudié Friedrich List.

Mendeleïev représente donc un savant prométhéen et un bâtisseur de nation. Il serait important pour le monde entier, mais en particulier pour la Russie, de faire revivre sa tradition et sa méthode. Bien que les institutions scientifiques russes et ukrainiennes aient continué à former d'excellents scientifiques et ingénieurs, il y a eu un déclin notable, notamment ces vingt-cinq dernières années. On voit l'influence perverse du formalisme mathématique, des connaissances fixes présentées dans les manuels, et des concours. Il existe aussi l'influence de l'analyse des systèmes en tant que doctrine formelle de l'économie « à la Von Neumann ». Il est temps de rétablir la tradition d'« apprentissage » et de l'« hypothèse supérieure » de Mendeleïev. ■