

LA CHIMIE DE ROBERT BOYLE ET LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE DE LA CHIMIE :

RENCONTRES ET PERSPECTIVES

MARINA PAOLA BANCHETTI-ROBINO

INTRODUCTION

Le centre d'intérêt de la philosophie des sciences au XX^e siècle était la physique et les questions fondamentales portant sur ses méthodes, principes et théories. Cet accent mis sur la physique a eu comme conséquence que les autres sciences ont été globalement ignorées ou bien considérées comme des « sciences dérivées » auxquelles n'était attaché aucun problème philosophique spécifique. Pour le courant positiviste en philosophie des sciences, les « sciences dérivatives » ainsi nommées étaient ontologiquement et épistémologiquement réductibles à la physique considérée comme science fondamentale. Donc, toutes les questions qui pouvaient se poser à propos des « sciences dérivées » étaient considérées entièrement réductibles aux questions philosophiques relatives à la physique. Avec le déclin du positivisme, l'intérêt philosophique porté à la chimie, la biologie, et les autres sciences a pris de l'ampleur. Depuis la fin du XX^e siècle, les philosophies de la chimie, de la biologie, et d'autres sciences sont reconnues comme disciplines légitimes ayant droit de cité en philosophie des sciences, même si cette reconnaissance est seulement modérée.

La philosophie de la chimie est donc une discipline relativement récente en philosophie contemporaine des sciences. Néanmoins, ce que j'espère démontrer dans cet essai est que

les questions auxquelles s'adresse la philosophie contemporaine de la chimie ne sont pas nouvelles mais étaient déjà débattues par les chimistes du XVII^e siècle. Plus précisément, je souhaite établir que Robert Boyle, un des fondateurs de la chimie moderne, n'avait pas seulement anticipé un grand nombre de problèmes fondamentaux de la philosophie de la chimie mais qu'il avait aussi développé une philosophie chimique pour leur donner sens et réponse d'une manière compatible avec les résultats de son travail expérimental. En fin de compte, j'espère démontrer que, à la différence des philosophes contemporains des sciences qui n'ont reconnu l'importance philosophique de la chimie que récemment, les chimistes XVII^e siècle tel que Robert Boyle étaient sûrs que la chimie pose des questions philosophiques particulières et sérieuses qui ne sont pas simplement réductibles aux questions philosophiques posées par la physique. Cela s'explique en partie par le fait que, pour Boyle, la chimie n'était pas du tout une science 'dérivée', comme le pensaient les positivistes, mais une science autonome qui est à la fois irréductible et indépendante de la physique.

Pour réaliser mon but, je considérerai d'abord quelques questions centrales de philosophie contemporaine de la chimie, c'est-à-dire, la question de la réduction de la chimie à la physique, de l'émergence et de la survenance des propriétés chimiques, et de l'autonomie des explications chimiques et de la chimie comme science. Je me concentrerai en particulier sur les positions prises par les plus éminents philosophes contemporains de la chimie. Après ça, j'étudierai en détail la philosophie chimique de Robert Boyle, les questions philosophiques fondamentales qu'il aborda dans son travail expérimental, et la philosophie chimique qu'il développa pour concilier ses préoccupations philosophiques avec les résultats de son travail scientifique.

QUESTIONS FONDAMENTALES DANS LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE DE LA CHIMIE

Une des questions les plus fondamentales de la philosophie contemporaine de la chimie est celle de l'autonomie de la chimie comme science, une question liée à la réduction de la chimie à la physique. En fait, la question de la réduction de la chimie à la physique est considérée comme « *un des secteurs principaux vers lequel doit être dirigé l'intérêt philosophique dans la chimie* ». ¹ Puisque la dépendance ontologique des propriétés chimiques aux états physiques fondamentaux n'est pas en question, la sorte de réduction signifiée ici est épistémologique, plutôt qu'ontologique. La question est « *si notre description actuelle de la chimie peut être réduite à notre description plus fondamentale de la physique, c'est-à-dire la physique quantique – avec ses conséquences explicatives* ». ² Certains philosophes des sciences sont fermement convaincus qu'une telle réduction épistémologique et explicative est autant désirable que réalisable, au moins en principe. Bien qu'il n'embrasse pas lui-même un tel réductionnisme, Jeffrey Ramsey explique que « *les philosophes sont rarement en désaccord avec l'affirmation que la chimie se réduit à la physique ... Les auteurs reconnaissent des limitations pratiques de la réduction, puisque 'vraiment construire des explications mécaniques quantiques de phénomènes chimiques est, généralement, hors des capacités humaines' ... Cependant, presque tout le monde est d'avis que la réduction est, en principe, possible* ». ³ Quelques philosophes des sciences vont encore plus loin que de simplement préconiser la réduction de principe. Certains d'entre eux tiennent que la réduction épistémologique de la chimie à la physique ait été, dans certains cas, déjà réalisée. Hilary Putnam et Paul Oppenheim, par exemple, ont notoirement prétendu qu'il « *a été possible de micro réduire la majorité des aspects macro-*

¹ Scerri et McIntyre, "The case for the philosophy of chemistry", 214.

² Ibid., 215.

³ Ramsey, "Molecular shape, reduction, explanation and approximate concept", 233.

*physiques de la matière ... et aussi les phénomènes chimiques des éléments ... les théories électroniques expliquent, par exemple, les lois qui gouvernent la valence, les types divers de liaisons chimiques, et la 'résonance' des molécules entre plusieurs structures électroniques équivalentes ... Tandis que quelques lois moléculaires ne sont pas encore micro-réduites, tous les espoirs sont permis de penser que de plus larges réussites seront obtenues en ce sens».*⁴ Oppenheim et Putnam supposent que la réduction de la chimie à la microphysique a déjà été réalisée⁵, et ils soutiennent que la capacité « d'obtenir un atome par combinaison de ses particules élémentaires »⁶ ou de synthétiser des molécules en « unissant chimiquement des atomes »⁷ prouvent que d'autres réductions sont réalisables. Ils revendiquent qu'à « chaque fois que l'on peut démontrer que les réalités d'un niveau donné ont existé avant que les réalités du niveau supérieur - notre hypothèse de travail s'en trouve indirectement renforcée (c'est-à-dire, la micro-réduction conçue comme instrument pour penser l'unité des sciences) ».⁸ La supposition sous-jacente à cette affirmation est que les réalités du niveau inférieur ne sont pas changées par leur participation dans un composé au niveau supérieur et qu'aucune nouvelle propriété n'émerge quand les réalités du niveau supérieur apparaissent. Cette supposition est, bien sûr, fortement sujette à débats et les arguments contre celle-ci seront présentés dans notre étude.

, Je voudrais cependant souligner que, malgré le point de vue majoritairement accepté par de nombreux philosophes des sciences, les chimistes et les philosophes de la chimie émettent de sérieux doutes quant à savoir si la dépendance ontologique de la chimie sur la

⁴ Putnam et Oppenheim, "Unity of science as a working hypothesis", 22.

⁵ Ibid., 27.

⁶ Ibid., 26.

⁷ Ibid.

⁸ Ibid., 23.

physique interdit l'autonomie épistémologique et explicative de la chimie comme science. Comme l'indique Eric Scerri, l'espoir pour une telle réduction,

semble avoir été abandonné et ... tout ce qui reste est la possibilité pour la réduction approchée. Cependant, les critères pour une telle forme de réduction n'ont pas été clairement identifiés et cette notion reste vague ... le calcul des énergies des états fondamentaux des atomes a été réalisé à un remarquable degré de précision et, de la même façon, les calculs sur des molécules de taille petite ou même moyenne ont donné des résultats encourageants. Cependant, la conclusion que la chimie a été réduite dépend des critères de réduction qui sont employés. Si nous devons définir la réduction approchée comme il a été suggéré ... alors il faut conclure que la chimie n'est pas même approximativement réduite à la mécanique quantique.⁹

Aussi loin que 1939, Linus Pauling affirma qu'« *une petite partie des contributions de la mécanique quantique à la chimie était de caractère purement issu de la mécanique quantique ; ces seulement dans quelques cas, par exemple, que des résultats d'intérêt directement chimique ont été obtenus par la solution exacte de l'équation de Schrödinger ... La contribution principale de la mécanique quantique à la chimie a consisté en l'émergence de nouvelles idées, comme celle de la résonance des molécules entre plusieurs structures électroniques avec une augmentation concomitante de stabilité* ».¹⁰

⁹ Scerri, "Has chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics?", 168.

¹⁰ Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, vii.

Curieusement, c'est précisément avec les concepts chimiques de valence et de liaison, mentionnés ci-dessus par Putnam et Oppenheim comme des exemples de réussite de l'entreprise de réduction, que la possibilité de cette dernière est, de fait, la plus remise en question. La réduction conceptuelle de notions comme la composition et la structure moléculaire est aussi sérieusement mise en doute, en partie parce que ces concepts ne représentent pas des caractéristiques ontologiques du monde. Quand il s'agit de ces concepts, la réduction n'est pas possible, même en principe, "à cause de la nature des concepts eux-mêmes. Autrement dit, les concepts de composition, de liaison, et de structure moléculaire ne trouvent leur signification qu'au seul niveau chimique ... nous pouvons calculer certaines propriétés moléculaires, mais nous ne pouvons pas pointer vers quelque chose, dans les expressions mathématiques, qui puisse s'identifier à une liaison chimique. Le concept de liaison chimique semble être perdu dans le processus de réduction ».¹¹ Hans Primas jette le doute sur la capacité qu'a la théorie quantique à rendre intelligible certains concepts chimiques quand il affirme que « de nombreux calculs extrêmement sophistiqués ont été conçus par certains des principaux chercheurs de ce domaine pour extraire un maximum d'informations de la théorie quantique. Pour les molécules simples, un accord remarquable a été obtenu entre les données calculées et celles qui sont mesurées. Pourtant, le concept d'une liaison chimique ne pouvait pas être présent dans ces calculs. Nous calculons les énergies de liaison chimique sans jamais savoir ce qu'est une liaison chimique! »¹²

La forme moléculaire aussi résiste à la réduction en principe car, selon de nombreux chimistes, elle est « simplement » un concept ayant un grand pouvoir heuristique. Bien

¹¹ Scerri et McIntyre, "The case for the philosophy of chemistry", 218-9.

¹² Primas, *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*, 5.

que «la forme moléculaire soit un concept chimique central qui a été fortement explicatif ... Wooley, Primas, et d'autres affirment [que] la forme n'est qu'une 'métaphore puissante et éclairante' ... Notre image traditionnelle des molécules est 'un concept pour résoudre des problèmes chimiques, non un objet de croyance' ... Si cela est correct, il faut remettre en question l'idée fondamentale des molécules construites à partir d'une somme d'atomes qui conservent leur identité essentielle au sein de la molécule». ¹³ Ramsey explique en outre que

[d]epuis que la forme est largement considérée comme un attribut tant physique que chimique du monde, ceux qui défendent cette opinion devraient être choqués d'entendre que la forme [moléculaire] est métaphorique en vertu d'être seulement chimique ... Les molécules peuvent ne pas avoir une orientation dans l'espace tridimensionnel, et leur forme particulière dépend du cadre expérimental qui sert à l'étudier. L'analyse philosophique laisse entendre que la question «Est-ce que x possède F ou non?» est bien posée. Le raisonnement philosophique indique que ne n'est cependant pas le cas, du moins pour certaines propriétés. La forme est une propriété relationnelle plutôt qu'une propriété intrinsèque ... l'essentialisme au sujet de la forme échoue parce qu'il ne reconnaît pas le caractère approximatif de ce concept ... La question de savoir si nous devons employer l'image de noyaux fixes, de "nuages" nucléaires et électroniques séparés, ou au contraire de "nuages" en interaction, dépend de la molécule particulière choisie pour l'étude, de

¹³ Ramsey, "Molecular shape, reduction, explanation and approximate concept", 233.

*la technique expérimentale que nous employons, et des questions que nous posons. Il est avéré qu'il existe de nombreuses de la même propriété de relationnelle.*¹⁴

La composition chimique, un concept lié à ceux de liaison et de structure moléculaire, résiste aussi à toute entreprise de réduction parce que « *ce qui est physique à l'intérieur d'un système chimique sont ses composants plutôt que le système lui-même [en qualité de système chimique] qui possède des propriétés émergentes (quoi qu'explicables) en plus que des propriétés physiques* ». ¹⁵ Cette irréductibilité du système chimique à ses composants physiques est mieux comprise en examinant la méréologie de systèmes chimiques comme les molécules, par exemple. Rom Harré et Jean-Pierre Llored ont fait remarquer que « *les atomes constitutifs des molécules ne sont pas des parties de ces molécules quand on considère l'entité totale à la lumière des orbitales moléculaires. À la différence des parties d'une chaise qui préservent leurs propriétés matérielles que ce soit dans la chaise ou sur le banc* ». ¹⁶ Il est également douteux que les molécules aient des pièces détachées physiques définitives de telle façon que le concept de molécule puisse être réduit, sans reste, au concept de composants physiques. Ainsi, la supposition de Putnam et Oppenheim « *que les molécules sont construites additivement à partir d'atomes, qui conservent leur identité essentielle dans la molécule, est remise en question* ». ¹⁷ En fait, Harré et Llored ont soutenu que, tout comme il n'y a pas de sel dans la mer bien que la mer fournisse le sel comme résultat de certaines opérations, il n'y a pas d'atomes dans les molécules bien que

¹⁴ Ibid., 234-48.

¹⁵ Bunge, "Is chemistry a branch of physics?", 210.

¹⁶ Harré et Llored, "Mereologies as the grammars of chemical discourses", 11.

¹⁷ Weininger, "The molecular structure conundrum: Can classical chemistry be reduced to quantum chemistry?", 939.

« les molécules fournissent des atomes dans le contexte de certaines manipulations, comme les études de réactivité moléculaire nous l'ont montré. Le contenu matériel de la molécule ne peut être seulement qu'une fusion de potentiels atomiques, pas d'atomes [et] les 'affordances' [réalités fournies] ne sont pas des propriétés conditionnelles simples ... elles intègrent la procédure ou la méthode utilisée pour rendre possible leurs manifestations empiriques ... Les parties des ensembles chimiques comme les molécules et les atomes sont des 'affordances' et non pas, elles-mêmes, des entités concrètes ».¹⁸ Ceci implique que le concept de molécule ne peut pas, donc, être réduit au concept d'atomes constitutifs, parce que ces parties de l'ensemble ne sont pas des entités concrètes en tant que telles et, dans quelques cas, peuvent même être des individus « éphémères ». Par exemple, « les structures d'oxygène et d'hydrogène, qui se composent et décomposent rapidement et dont l'eau réelle est vraiment constituée, sont des individus éphémères. L'eau est composée de ces êtres. Comme tels, ils sont des constituants [ontologiques] d'un certain ensemble ».¹⁹ Mais l'eau, comme composition chimique, ne peut pas simplement être réduite à ces parties ou présences éphémères.

En plus de la réduction de la chimie à la physique, une autre question importante dans la philosophie contemporaine de la chimie est la question de l'émergence de propriétés chimiques provenant de relations au niveau physique. Il y a, en fait, des raisons suffisantes de soutenir la pertinence de la notion d'émergence à propos de certaines propriétés chimiques.

¹⁸ Harré et Llored, "Mereologies as the Grammars of Chemical Discourses", 12.

¹⁹ Ibid., 13.

[Philip] Anderson a indiqué qu'en général, toute configuration d'un système d'état stationnaire de la matière doit présenter les mêmes propriétés de symétrie que les équations dynamiques qui le servent à le décrire. Cependant, tandis que ceci s'applique aux parties séparées et isolées qui composent le système, le tout pourrait manifester moins de symétrie à cause des interactions entre ces parties ... le phénomène d'émergence est vu par Anderson comme la manifestation d'un effet macroscopique qui a moins de symétrie que les parties du système ne manifestent lorsqu'elles sont isolées « ... [Par exemple] un système qui a une symétrie sphérique, et dont l'état est modifié à cause de réactions chimiques et de diffusion, restera à jamais sphériquement symétrique si la réaction et les taux de diffusion sont identiques. Cependant, des irrégularités dans les taux de production et de diffusion des substrats ont pour résultat des instabilités chimiques qui rompent la symétrie ... les instabilités s'amplifient et forment des ondes. La formation d'une onde chimique est une forme de signalisation chimique. Une telle signalisation chimique joue un rôle important dans l'embryogenèse, la formation de polarité embryonnaire (la définition de la tête et la queue de l'organisme), la formation de bourgeons et de pousses dans les plantes, et la structure morphologique des animaux.²⁰

Quand le concept d'émergence est analysé encore plus finement, il s'avère qu'il implique un certain nombre de caractéristiques interdépendantes. La première de ces

²⁰ Newth and Finnigan, "Emergence and self-organization in chemistry and biology", 845-6.

caractéristiques est la nouveauté, c'est-à-dire qu'aucune des parties d'une substance ne manifestent la propriété émergente globale. La deuxième caractéristique est la relation métaphysique de survenance, c'est-à-dire « *un rapport de détermination et de dépendance d'un ensemble de propriétés sur un autre* ». ²¹ La troisième caractéristique de l'émergence est son imprévisibilité, qui se rapproche de la notion de

différence nonsummativité des propriétés survenantes par rapport aux propriétés 'sous-venantes' (c'est-à-dire que les propriétés survenantes ne sont pas propriétés de la base de survenance et ne peuvent pas être simplement dérivées additivement de ces propriétés. Ceci est aussi intimement lié à l'irréductibilité supposée des propriétés survenantes à celles sous-venantes) ... Le genre de méréologie que cela exige est assez différent de l'interprétation extensionnelle largement supposé dans la méréologie classique, dans laquelle toutes les parties composent automatiquement un tout, indépendamment de leurs relations les unes aux autres. ²²

Il est important de faire référence à la notion de relationnalité, dans le contexte d'une explication méréologique de la survenance, pour les raisons suivantes. Le composé qui manifeste les propriétés survenantes n'est pas simplement une collection de parties qui sont mises ensemble n'importe comment, mais il s'agit plutôt d'un composé constitué de parties qui entretiennent des relations mutuelles très spécifiques. Ce sont à la fois les

²¹ Newman, "Chemical supervenience", 49.

²² Ibid., 50.

propriétés sous-venantes des éléments constitutifs et leurs relations, mais aussi des propriétés qui expliquent la transcendance (c'est-à-dire l'irréductibilité) des propriétés survenances. Parce que nous soutenons que la survenance est une caractéristique de l'émergence, et parce que l'émergence est conçue comme une caractéristique ontologique du monde tandis que l'imprévisibilité et la dérivabilité sont des concepts épistémiques, il est préférable de parler de survenance en termes de sous-détermination ontologique. Selon Achim Stephan, Robert Francescotti préconise de remplacer « *la contrainte d'imprévisibilité avec la thèse de sous-détermination suivante : les propriétés émergentes de l'ensemble sont sous-déterminées par les propriétés de ses parties appropriées ... La question essentielle est [donc] de savoir si les propriétés des parties, à un moment donné, sous-déterminent les propriétés de l'ensemble au même moment* ». ²³

Cette sous-détermination est représentée précisément par la notion de relationnalité. Selon Joseph Earley, « *[u]ne théorie adéquate des relations entre les tous et leurs parties (méréologie) doit prendre en compte que lorsque les entités entrent dans des combinaisons adéquates elles ne sont plus les mêmes entités qui existaient avant la composition* ». ²⁴ La méréologie impliquée dans le concept de survenance chimique est une méréologie non standard, car « *les parties subissent des changements quand elles forment un ensemble* ». ²⁵ La présence de la propriété survenante affecte les propriétés des éléments constitutifs, ainsi que les propriétés des parties dépendent-elles du rôle qu'elles jouent dans l'ensemble qui exprime la propriété survenante. Earley rajoute : « *la plupart des philosophes doivent encore reconnaître que, quand des composants entrent dans une combinaison chimique, ces composants ne conservent pas, en général, la même identité qu'ils auraient en absence*

²³ Francescotti, "Emergence", 52-3.

²⁴ Earley, "Why there is no salt in the sea", 85.

²⁵ Newman, "Chemical supervenience", 56.

de cette combinaison ». ²⁶ De bons exemples qui illustrent le point de vue exprimé par Earley sont l'H₂O et le chlorure d'argent. Tandis que la propriété d'être H₂O ou d'être du chlorure d'argent « *surviennent sur les caractéristiques des atomes constitutifs, les caractéristiques des atomes sur lesquels elles surviennent comprennent des caractéristiques que les atomes ont seulement en vertu d'être des parties de ce composé. Les interrelations atomiques qui donnent naissance au composé ne seraient pas obtenues si les atomes étaient des parties d'un type moléculaire différent* ». ²⁷ Les molécules elles-mêmes sont définies en conformité avec les réseaux de réactions chimiques et non vice-versa. ²⁸

Puisque les propriétés émergentes de l'ensemble affectent les propriétés des éléments constitutifs de telle sorte que ces parties sont différentes de ce qu'elles seraient autrement, la propriété émergente ne révèle pas seulement de nouveaux pouvoirs causaux mais elle manifeste aussi, très spécifiquement, une causalité descendante exercée sur les parties. « Dans la mesure où le comportement de tout sous-système est affecté par les super-systèmes auxquels il participe, le comportement émergent des systèmes complexes doit être considéré comme déterminant, mais non déterminé par, le comportement de leurs éléments constitutifs. Et cela est la causalité descendante ». ²⁹ Ainsi, bien que la survenance soit généralement considérée comme une relation de dépendance asymétrique de sorte que les propriétés survenantes dépendent des propriétés sous-venantes et non l'inverse, la survenance qui est impliquée dans l'émergence est de genre symétrique. La clé pour comprendre comment il est possible qu'une propriété survienne sur les composants tout en

²⁶ Earley, "Varieties of properties: An alternative distinction among qualities", 89.

²⁷ Francescotti, "Emergence", 58

²⁸ Je suis reconnaissante à Jean-Pierre Llored pour m'avoir suggéré cet exemple utile.

²⁹ Hendry, "Is there downward causation in chemistry?", 180.

exerçant une influence causale nouvelle et descendante est, précisément, la notion de relationnalité expliquée ci-dessus.

L'émergence ... est une fonction de la relationnalité. La propriété émergente F survient seulement à cause des relations des parties les unes avec les autres. Tout aussi importantes sont les relations des parties à l'ensemble, puisque F survient seulement avec l'aide de propriétés que les parties n'auraient pas si elles n'étaient pas des parties d'un ensemble qui contient F. Ceci permet à F de survenir et, à la fois, d'exercer une influence causale nouvelle et même descendante. L'influence de F survient sur les propriétés des parties, et est donc uniquement une fonction de ces dernières. Pourtant, l'influence est nouvelle en tant qu'elle va au-delà (n'est pas 'uniquement une fonction') des propriétés des parties prises isolément par rapport à l'ensemble. Et parce que F survient avec l'aide de propriétés que les parties n'auraient pas si elles n'étaient pas des parties d'un ensemble qui contient F, la base sur laquelle F survient dépend de la présence même de F. De cette façon, F influence les propriétés des parties sans violer la relation de survenance.³⁰

L'émergence et la survenance, comprises en termes de relationnalité et de dépendance symétrique, sont les clés pour répondre à la question de la réductibilité. Bien que « *les phénomènes que nous étudions dans une science secondaire soient considérés comme*

³⁰ Francescotti, "Emergence", 61-2.

*dépendants ontologiquement des relations au niveau primaire ... la survenance nous offre la vertu d'une dépendance ontologique, sans le vice d'une réduction explicative ».*³¹

Bien que Jaegwon Kim et d'autres philosophes aient soutenu que le concept de causalité descendante nous place devant d'inévitables paradoxes³², certains philosophes tentent de légitimer l'utilisation du concept de causalité descendante en s'appuyant sur des arguments empiriques qui en attesteraient l'existence. Comme nous l'enseigne Michel Bitbol, la racine du problème n'est pas le concept de causalité descendante, ni l'expérience de causalité descendante, mais « *les interprétations métaphysiques standards qui sont superposées sur eux* ». ³³ Bitbol a récemment proposé une manière alternative de penser au problème conceptuel de la causalité descendante. En fait, si nous acceptons la proposition de Bitbol, la causalité descendante ne présenterait aucun problème. Selon ce dernier, c'est seulement pour une interprétation substantialiste des niveaux supérieurs et inférieurs que la causalité descendante semble paradoxale. Cependant, une alternative existe « *à condition que le présupposé substantialiste soit abandonné à chaque niveau de description* »³⁴ et qu'une conception symétrique et interventionniste de la causalité lui soit substituée. L'approche proposée par Bitbol est en parfait accord avec les résultats de la mécanique quantique qui établissent que « *les observables sont définis opérationnellement et que les interventions expérimentales sont co-constitutives, plutôt que simplement révélatrices, des propriétés* ». ³⁵ Selon cette conception, l'intervention est ce qui nous permet d'isoler les causes de telle sorte que « *la configuration A est une cause de la configuration distincte B si : (i) chaque fois que A est activement mise en place par un quelconque moyen, B se*

³¹ Scerri and McIntyre, "The case for the philosophy of chemistry", 224.

³² See Kim, "Making sense of emergence", 3-36.

³³ Bitbol, "Downward causation without foundations", 2.

³⁴ Ibid., 7.

³⁵ Ibid., 10.

produit (avec la probabilité p) ; (ii) chaque fois que A est activement supprimée, B ne se produit pas (ou se produit avec la probabilité $p' < p$). C'est intéressant de noter que ... cette définition de la causalité était celle utilisée par ... Galilée [qui déclarait que] 'La cause est ce qui est suivie par l'effet quand elle est postulée et dont l'effet est supprimé quand elle est absente' ... Plusieurs difficultés liées aux causalités ascendante et descendante sont formellement résolues par cette théorie de la causalité ».³⁶ Selon Bitbol, l'adoption de cette théorie interventionniste de la causalité entraîne deux conséquences qui sont que :

(i) Les causalités descendante et ascendante ne sont ni illusoires, ni n'existent de façon inhérente, mais sont plutôt relatives à un certain niveau d'intervention. En conséquence, les causalités descendante et ascendante ne sont pas des concepts substantiels, mais plutôt des concepts complètement relationnels. (ii) Les relations pertinentes ne sont établies entre des entités qui seraient, autrement, intrinsèquement existantes. Elles contribuent à la définition même de leurs termes ... Cette approche fortement anti-fondationaliste n'est pas en accord avec le réalisme scientifique qui domine la recherche en philosophie des sciences. Elle s'inscrit en revanche dans la continuité d'un programme de recherche alternatif inspiré par l'« idéalisme transcendantal » de Kant, la phénoménologie d'Husserl, et le pragmatisme. Après tout, dans ce genre de structure, « l'accès à un objet prend activement part à sa constitution

³⁶ Ibid., 7.

en tant qu'objet. [Bitbol cite ici Emmanuel Levinas, *En découvrant l'existence avec Husserl et Heidegger*. Paris: Vrin, 2001, 161]³⁷

Les questions d'émergence, de survenance et de réductibilité sont elles-mêmes étroitement liées à la question de l'autonomie des explications chimiques et, plus généralement, à la question de l'autonomie de la chimie comme science. La réductibilité des lois chimiques aux lois physiques nécessiterait que les lois physiques soient universelles et fondamentales, et que toutes les lois dans les autres sciences de la nature considérées comme secondaires soient des instanciations non fondamentales de ces lois physiques plus générales et plus universelles. À ce point, étant donné tout ce qui a déjà été affirmé à propos de l'émergence des propriétés chimiques et de l'irréductibilité des concepts chimiques, les preuves semblent plaider contre la réductibilité des lois chimiques dans la mesure où au moins quelques lois chimiques peuvent être considérées comme fondamentales.

[A]lors que le mécaniste postule une seule loi fondamentale, ou plusieurs de même nature, l'émergentiste reconnaît qu'il peut en exister un grand nombre. Dans le domaine de la chimie en particulier, le mécaniste soutient que seules quelques lois de la dynamique microscopique sont nécessaires pour déterminer le comportement de chaque atome ou molécule ... Donc, étant données ces quelques lois et la constitution physique d'une espèce chimique, il serait possible en principe (quoique peut-être non en pratique) d'en déduire une description complète de son comportement. L'émergentiste reconnaîtra que, pour certains atomes et

³⁷ Ibid., 2.

*molécules, il existera des lois fondamentales qui décrivent seulement leur comportement et qui ne sont pour autant pas des cas de lois plus générales.*³⁸

La méréologie non standard qui a été discutée ci-dessus peut nous permettre de développer ces affirmations. Dans la mesure où une espèce chimique, comprise comme un « tout », manifeste des propriétés qui sont sous-déterminées par ses parties composantes, les lois fondamentales qui gouvernent les parties individuelles ne peuvent pas, même en principe, nous permettre de déduire une description complète du comportement de l'espèce chimique globale. En outre, puisqu'une propriété émergente exerce une influence causale descendante sur les parties qui interagissent pour lui donner naissance, et dans la mesure où les parties sont altérées par cette causalité descendante, les lois fondamentales qui gouvernent les parties prises individuellement pourraient ne pas être les mêmes lois que celles qui gouvernent les parties dès lors qu'elles sont intégrées dans le tout. Comme l'écrit Bitbol, « *il peut exister des différences entre les états globaux sans qu'il existe une quelconque différence correspondante entre les états locaux qui les soutiennent ... Les propriétés et les états ne peuvent pas être traités comme des caractéristiques intrinsèques préexistantes. Ils doivent être interprétés comme relationnels* ». ³⁹ Comme Harré et Llored l'ont suggéré, ces propriétés peuvent être des « affordances ». Il en découle que les quelques lois qui sont supposées, par le mécaniste, déterminer la constitution physique de l'espèce chimique ne suffisent pas à expliquer complètement (ou même partiellement) son comportement. Par conséquent, si les lois physiques fondamentales ne suffisent pas à

³⁸ Hendry, "Is there downward causation in chemistry?", 179.

³⁹ Bitbol, "Downward causation without foundations", 13.

expliquer le comportement des espèces chimiques, et si une telle explication ne peut être fournie d'une manière satisfaisante que par des lois uniquement chimiques, alors on est en position de revendiquer l'autonomie des lois chimiques et de la chimie comme science indépendante. Comme le suggère Mario Bunge, « *même s'il était possible de définir chaque concept chimique en termes de concepts physiques et de déduire chaque loi chimique à partir de lois physiques, la chimie garderait toujours ses référents particuliers (systèmes chimiques), ses méthodes (par exemple, la détermination de l'acidité et de la neutralisation), et ses objectifs (par exemple, la compréhension et le contrôle des synthèses chimiques) ... nous devons considérer chaque science comme un système qui possède un certain nombre de caractéristiques : il nous faut l'imaginer comme un domaine de recherche à part entière* ». ⁴⁰

J'en viens maintenant à la philosophie chimique de Robert Boyle, qui anticipe beaucoup certaines préoccupations contemporaines discutées ci-dessus et qui cherche à en proposer une interprétation compatible avec les découvertes empiriques alors connues et accessibles à l'époque de Boyle.

QUESTIONS FONDAMENTALES DANS LA PHILOSOPHIE CHIMIQUE DE BOYLE

Le débat sur la relation de la chimie à la physique n'est pas propre à la philosophie contemporaine de la chimie. Il était déjà disputé au XVII^e siècle parmi de nombreux philosophes naturels et spéculatifs. Paolo Rossi explique que « *comme la géologie et le magnétisme, la chimie est devenue une science moderne entre le XVII^e et le XVIII^e*

⁴⁰ Bunge, "Is chemistry a branch of physics?", 210-1.

siècle »⁴¹, bien qu'il soit possible d'en déceler déjà certaines formes de structure dans les travaux antérieurs développés par les alchimistes. Cependant la chimie demeurait essentiellement une entreprise pratique qui ne semblait pas être ancrée sur une solide base théorique et philosophique avant le XVII^e siècle. Le statut scientifique de la chimie dépendait donc du développement d'une philosophie chimique solide. « *Sans aucun doute, la philosophie chimique était enracinée dans l'occulte [l'alchimie] et sa matrice théorique se trouvait dans les écrits grandioses du fascinant ... Paracelse (ca. 1493-1541). Pourtant, la philosophie chimique occupe une place importante dans la culture scientifique du dix-septième siècle* ». ⁴² À mesure que le débat sur le statut de la chimie évoluait, les participants à ce débat comprirent que la question de l'autonomie scientifique était liée à celle de la possible réduction des phénomènes chimiques aux propriétés des particules matérielles gouvernées par les lois de la physique. En fait, les questions de la réduction ontologique et épistémologique des phénomènes chimiques aux états physiques fondamentaux étaient des questions largement débattues et, dans la mesure, où la théorie dominante de la matière était alors la philosophie mécanique cartésienne, les partisans du réductionnisme soutenaient que tous les phénomènes chimiques étaient réductibles aux propriétés mécaniques des particules fondamentales, c'est-à-dire, à la forme, la taille, et le mouvement.

La position de Robert Boyle sur le statut de la chimie est résolument en faveur de son autonomie par rapport la physique, et son rejet des explications réductivement mécaniques sur la base de ses propres réalisations expérimentales a contribué significativement au débat du XVII^e siècle. « *Boyle ne considère pas la chimie comme une branche de la*

⁴¹ Rossi, *The Birth of Modern Science*, 139.

⁴² Ibid., 139-40.

physique ... [et] Boyle ne réduit pas tous les phénomènes chimiques aux altérations géométrico-mécaniques des particules de la matière inerte ». ⁴³ En fait, et malgré l'opinion reçue parmi de nombreux philosophes des sciences qui lui étaient contemporains, un examen attentif des écrits chimiques de Boyle montre qu'il distingue son recours à la philosophie mécanique, qu'il considère comme la théorie de la matière la plus adéquate alors disponible, de sa philosophie chimique qui est solidement attachée à l'irréductibilité des phénomènes chimiques. Boyle est « *loin de subordonner la chimie à la philosophie mécanique, car il n'explique pas les phénomènes chimiques par le recours immédiat et direct aux altérations mécaniques des particules. En fait, il considère la chimie comme une discipline indépendante de la mécanique [et explique] les phénomènes chimiques en termes de corpuscules dotées de propriétés chimiques plutôt que mécaniques. En conséquence, sa philosophie chimique peut être décrite comme corpusculaire, [mais] non pas comme mécanique* ». ⁴⁴ Il est très clair que Boyle prend ses distances par rapport aux philosophes mécanistes comme Spinoza qui essayent de fournir des explications pour tous les phénomènes et réactions chimiques d'un point de vue strictement cartésien, mathématique, et a priori, comme l'atteste la controverse bien connue opposant Boyle et Spinoza à propos de l'interprétation de la décomposition et de la recomposition du nitrate de potassium. En fin de compte, en tant que chimiste expérimental, Boyle ne peut se résoudre à adopter une position inexorablement réductionniste. En fait, son désaccord avec le réductionnisme de Spinoza et d'autres mécanistes cartésiens est évident dans *An Essay on various Degrees or Kinds of the Knowledge of natural things*, dans laquelle Boyle déclare catégoriquement que les épicuriens et les cartésiens :

⁴³ Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, 106.

⁴⁴ Clericuzio, "A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy", 563.

*sont tellement charmés par la clarté et le plaisir des théories et des explications immédiatement dérivées de notions et théorèmes métaphysiques et mathématiques ; pourtant, ils donnent souvent des explications des choses qui sont forcées et contre-nature, plutôt que de donner l'impression de ne les avoir pas dérivées immédiatement de ces principes les plus élevés. Et, ce qui est bien pire, ils méprisent et peut-être aussi condamnent ou décrivent toutes ces connaissances des œuvres de la nature auxquelles prétendent les médecins, les chimistes, et d'autres, parce qu'elles ne peuvent pas être clairement déduites à partir des atomes ou des lois catholiques du mouvement.*⁴⁵

En ce qui concerne l'expérience mentionnée ci-dessus, quand Boyle fournit un compte-rendu explicatif de la recombinaison du nitrate de potassium, il « *n'invoque pas tant le mouvement et la forme des corpuscules que les qualités chimiques des diverses substances qui ont la propriété de dissoudre, de précipiter ou de fixer. Bref, pour Boyle, l'explication chimique garde son autonomie et ne peut être réduite à une explication mécanique qui sans doute la sous-tend mais ne peut jamais être explicitée en tant que telle* ». ⁴⁶ On peut trouver d'autres preuves de la préférence de Boyle pour les explications chimiques, plutôt que mécaniques, dans la majorité des compte-rendu de ses expériences. Dans *History of Colours*, par exemple, il explique ses expériences avec les couleurs en s'appuyant uniquement sur les propriétés chimiques. Dans une expérience comprenant le sublimé

⁴⁵ Boyle, *An Essay of various Degrees or Kinds of the Knowledge of natural things*, 166r.

⁴⁶ Joly, "Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences: les débats entre Louis Lémery et Étienne-François Geoffroy".

vénitien (chlorure de mercure), le tartare de vin (tartrate acide de potassium), et l'esprit acide de vitriol (acide sulfurique), Boyle explique le changement d'une solution transparente à une solution orange, et puis de nouveau le retour à la transparence, comme le résultat de « *la substitution de corpuscules composées ayant des propriétés chimiques [plutôt que par] les propriétés mécaniques des corpuscules* ». ⁴⁷ Boyle justifie cette prise de position en raison du fait que cela « *semble être la raison chimique de cette expérience. C'est-à-dire, une raison, en supposant la vérité de ces notions chimiques que j'espère avoir ailleurs montrée, qui puisse donner une explication des phénomènes comme seules les notions chimiques peuvent le faire. Mais j'utilise, ici et ailleurs, cette façon de parler pour indiquer que je suis suffisamment conscient des différences entre une explication chimique d'un phénomène et une explication qui est vraiment philosophique ou mécanique* ». ⁴⁸ Dans ses essais physiologiques, tels que *Memoirs of the History of Human Blood*, Boyle est encore plus explicite en donnant des explications strictement chimiques et évite complètement toute référence aux propriétés mécaniques des corpuscules. En tant que chimiste, il se dévoue fortement à expliquer les phénomènes d'une manière qui éclaircisse les changements qualitatifs qui se produisent dans les opérations et les « transmutations » chimiques, et il n'est donc pas satisfait par la réduction des propriétés chimiques aux propriétés essentiellement et entièrement quantifiables de la matière fondamentale. Malgré son refus d'adopter un réductionnisme strict, il est largement admis que Boyle embrasse une ontologie mécaniste cartésienne à l'égard de la nature des particules fondamentales. La question de savoir comment Boyle réussit à concilier cartésianisme et antiréductionnisme doit être cependant évoquée. Afin de répondre à cette question, il faut

⁴⁷ Clericuzio, "A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy", 577.

⁴⁸ Boyle, *A History of Colours*, 762-3.

comprendre la relation que Boyle entretient avec le mécanisme cartésien du XVII^e siècle. Comme cela a été mentionné précédemment, la conception mécaniste cartésienne des particules fondamentales est la théorie dominante de la matière au XVII^e siècle et c'est celle qu'adoptent les philosophes qui veulent nier l'autonomie de la chimie comme science et plaider pour la réductibilité de ses lois et de ses explications à celles de la physique. Ces conceptions de la matière, y comprises celles qui se trouvent dans les manuels scolaires de l'époque, ne sont pas fondées sur la science expérimentale mais sont théoriques et a priori. Ceci est le cas puisque, selon les cartésiens, « *la déduction permet la découverte de principes généraux selon lesquels les éléments de toute connaissance [doivent] être structurés* ». ⁴⁹ Bien que les théories mécanistes cartésiennes n'aient aucune base expérimentale, Boyle croit que le mécanisme cartésien fournit la plus solide alternative à la théorie péripatétisienne de la forme substantielle et à la théorie spagirique de la *tria prima* qui mise en avant par Paracelse et d'autres alchimistes.

Dans un certain nombre d'expériences clés, comme son travail sur la recombinaison du nitrate de potassium, Boyle se réfère au corpuscularisme mécaniste pour expliquer comment une substance hétérogène peut être analysée en utilisant les matières qui la composent et comment ces composants peuvent être re-synthétisés dans le composé original. Il soutient que, si la théorie de la forme substantielle était correcte, il ne serait pas possible de réintégrer une substance hétérogène comme le nitrate de potassium dès lors que ses substances constitutives avaient été séparées, parce que la forme substantielle serait alors perdue. Le corpuscularisme mécaniste, d'autre part, implique la possibilité d'une telle réintégration car les corpuscules fondamentaux ne sont dotés que des propriétés de forme, taille, et mouvement. Lorsque les substances sont analysées et re-synthétisées, les

⁴⁹ Smets, "The controversy between Leibniz and Stahl on the theory of chemistry", 291.

corpuscules individuels conservent leurs propriétés mécaniques individuelles au cours de chaque processus. Il n'y a aucune perte de forme substantielle, ni de transformation des propriétés mécaniques au niveau fondamental, de manière que les composants dans lesquels la substance a été analysée peuvent être réunis, à nouveau et sans problème, pour re-synthétiser la substance originale. Boyle croit aussi que la théorie mécaniste et corpusculaire de la matière peut expliquer, avec plus de succès, le processus de transmutation et de transformation chimique. En fait, pour Boyle, le corpuscularisme mécaniste implique la possibilité de la transmutation. Boyle soutient ce point en détail dans *The Sceptical Chymist*, un traité principalement dirigé contre l'adhérence des spagiristes à la théorie de la forme substantielle, précisément parce que cette théorie n'explique pas adéquatement la possibilité de la transmutation. Cependant, malgré son allégeance au mécanisme cartésien, Boyle se tient à l'écart des plus extrêmes implications de cette position. Comme on a déjà souligné, Boyle accepte la dépendance ontologique des propriétés chimiques sur les propriétés mécaniques de forme, taille, et mouvement, mais il reste défavorable à la réduction épistémologique et explicative des propriétés chimiques aux propriétés physiques. L'adhésion de Boyle à la théorie mécaniste des particules est, donc, compliquée par son désir d'adapter le concept de propriétés chimiques à son corpuscularisme. Pour atteindre son objectif, il doit développer une ontologie chimique qui permette une théorie de la matière à la foi mécaniste et non réductionniste. D'autres suggestions sont faites dans les écrits de Boyle, qui laissent entendre que les propriétés chimiques sont non seulement causalement efficaces mais peut-être aussi « surviennent » sur les propriétés mécaniques des particules matérielles fondamentales comme nous pourrions l'écrire aujourd'hui. J'illustrerai ce propos par la suite.

Afin d'appuyer la théorie mécaniste cartésienne et de rejeter son réductionnisme en faveur d'une théorie « émergentiste » des propriétés chimiques, la solution pragmatique de Boyle consiste à développer une théorie hybride de la matière qui distingue ontologiquement les corpuscules fondamentaux gouvernées par des principes mécanistes et les arrangements corpusculaires gouvernés par des principes chimiques. Ses écrits suggèrent que cette théorie complexe lui permet de : (1) conceptualiser plus clairement les résultats obtenus par ses propres expériences chimiques, (2) affirmer l'autonomie des explications chimiques par rapport aux explications physiques et mécaniques, et (3) affirmer la légitimité de la chimie comme pratique autonome indépendante de la physique. Cette théorie hybride de la matière distingue entre les corpuscules de premier ordre, qui sont dotées de propriétés strictement mécaniques et sont gouvernées par des lois physiques, et les corpuscules de second ordre et d'ordres supérieurs, qui sont dotées de propriétés chimiques et génératives qui sont causalement efficaces et gouvernées par des lois chimiques. Il est intéressant de remarquer que ceci est très proche de la hiérarchie contemporaine entre les divers niveaux de description.

Dans *Of ye Atomicall Philosophy* (1651-1653), Boyle explique sa théorie complexe des particules en identifiant les atomes ou corpuscules fondamentales avec les *minima naturalia*, c'est-à-dire avec les particules qui ne sont pas divisibles en nature. Il doit être clarifié que la notion de *minima naturalia* de Boyle diffère de celle des philosophes scholastiques précisément parce que « Boyle exclut la notion aristotélicienne de forme substantielle ».⁵⁰ Au contraire, pour Boyle, les propriétés des *minima* doivent être comprises comme étant strictement mécaniques, c'est-à-dire, comme étant seulement les

⁵⁰ Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, 116.

propriétés de forme, taille, et mouvement. Les *minima* sont, par conséquent, les particules les plus fondamentales de la matière qui obéissent à des lois strictement mécanistes. Ces particules peuvent être appelées les corpuscules de premier ordre car elles sont, en fin de compte, les particules sur lesquelles tous les phénomènes dépendent ontologiquement. Toutefois, pour Boyle, les questions surgissent inévitablement de : (1) comment les propriétés de différents composés chimiques peuvent varier qualitativement et chimiquement, tandis que les particules fondamentales qui constituent ces composés varient seulement de manière quantitative et mécaniste, et (2) comment on peut expliquer, de façon mécaniste, l'efficacité causale des propriétés chimiques comme l'acidité, l'alcalinité, la salinité et la solubilité, pour n'en nommer que quelques-unes. Pour répondre à ces questions, Boyle élargit ontologiquement sa théorie de la matière en adoptant la notion de concrétions corpusculaires non fondamentales qui manifestent des propriétés chimiques, ce qu'on peut appeler des corpuscules d'ordres supérieurs. Nous avons, ainsi, une ontologie de particules de premier ordre, ou bien *minima naturalia*, qui sont les particules fondamentales de la matière universelle dotées des propriétés strictement mécaniques de forme, taille, et mouvement et de corpuscules d'ordres supérieurs, c'est-à-dire, corpuscules composées ou bien concrétions corpusculaires dotées de propriétés chimiques. Boyle explique cette classification dans son essai *The Origin of Forms and Qualities* en disant qu'« *il y a des multitudes de corpuscules, qui sont faites de la coalition de plusieurs minima naturalia, dont la masse est si petite et l'adhésion si proche, que chacune de ces petites concrétions primitives, ou groupe de particules, apparaissent individuellement sous le discernement des sens* ». ⁵¹ Selon Boyle, les concrétions primaires, ou bien corpuscules de second ordre, forment des groupes d'un ordre encore plus élevé et

⁵¹ Boyle, *The Origin of Forms and Qualities*, 209.

« à la différence des *minima naturalia*, les corpuscules de second ordre (et d'ordres supérieurs) n'ont pas seulement des propriétés mécaniques mais aussi des propriétés chimiques ». ⁵² Dans *The Sceptical Chymist*, Boyle adopte le terme « corpuscules élémentaires » pour se référer aux *minima naturalia*, c'est-à-dire, aux corpuscules de premier ordre, et le terme « corpuscules composées » pour se référer aux concrétions corpusculaires, c'est-à-dire, les corpuscules d'ordres supérieurs. En termes contemporains, les corpuscules de premier ordre seraient analogues aux atomes, tandis que les corpuscules de second ordre seraient analogues aux molécules. De la même façon que Robert Sanderson Mulliken affirme que les molécules ont des propriétés que leurs atomes composants n'ont pas, parce qu'il considère « la molécule comme un composite dans lequel les atomes [perdent] leur singularité » ⁵³, Boyle pense que les réactions chimiques s'effectuent au niveau des corpuscules d'ordres supérieurs parce que ces corpuscules manifestent des propriétés chimiques qui ne sont pas manifestées par les corpuscules de premier ordre. Donc, dans la mesure où les corpuscules de premier ordre sont analogues aux atomes et que celles de second ordre sont analogues aux molécules, il semble que Boyle aurait partagé l'avis de Mulliken quand celui-ci affirme que « la molécule a des propriétés que les atomes ne manifestent pas et sa décomposition donne à nouveau les atomes séparés ... Ce composé moléculaire crée de nouveaux corps homogènes à partir d'éléments homogènes, qui ne peuvent pas être interprétés en termes de la simple proximité spatiale des particules ... Ainsi le composé défait la simple somme de ces parties ». ⁵⁴

⁵² Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, 143.

⁵³ Llored, "Mereology and quantum chemistry: The approximation of molecular orbital", 204.

⁵⁴ Ibid.

Boyle pense aussi que des concrétions différentes de particules primaires qui ont des propriétés mécaniques quantitativement différentes peuvent exprimer les mêmes propriétés chimiques, comme la salinité par exemple. Boyle, en fait, « *se retient d'établir une relation directe entre une qualité donnée et un ensemble particulier de propriétés mécaniques des corpuscules plus simples* ». ⁵⁵ Il semble donc considérer la relation entre les propriétés mécaniques et les propriétés chimiques comme une dépendance asymétrique, et suggérer que les propriétés chimiques des corpuscules d'ordres supérieurs surviennent sur les propriétés mécaniques des corpuscules de premier ordre ou *minima naturalia*. « *L'argument pour la survenance exige que si deux composés partagent la même propriété macroscopique ... nous ne pouvons pas nécessairement déduire que les composants microscopiques desquels les composés sont formés sont identiques* ». ⁵⁶ Bien que Boyle affirme clairement la dépendance ontologique des propriétés chimiques sur les propriétés mécaniques, « *son objectif est de rejeter l'idée que les qualités sensibles soient réductibles à tel ou tel ingrédient d'un corps mixte. Il présente l'idée que la qualité a un caractère relatif, c'est-à-dire qu'elle est produite de l'interaction constante de corpuscules différentes, qui elles-mêmes pourraient ne pas avoir la qualité en question ... Boyle soutient aussi que les qualités chimiques dépendent de la manière dans laquelle les corpuscules qui composent un corps sont disposées à agir ... [et] il nie que [ces qualités] proviennent directement des propriétés mécaniques de leurs particules primaires* ». ⁵⁷

Les nombreuses remarques faites par Boyle à propos de l'apparition de nouvelles propriétés chimiques dans les composés, antérieurement absentes dans les réactants

⁵⁵ Clericuzio, *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*, 117.

⁵⁶ Scerri and McIntyre, "The case for the philosophy of chemistry", 225.

⁵⁷ Clericuzio, "A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy", 563-88.

suggèrent qu'il considère les propriétés chimiques comme ontologiquement dépendantes de, mais non réductibles à, la forme, la taille, et le mouvement des particules fondamentales, ce que nous qualifierons de nos jours de propriétés chimiques émergentes. Pour Boyle, la diversité des qualités chimiques et d'autres qualités sensibles surgit ou émerge de la manière spécifique dans laquelle les corpuscules de premier ordre s'unissent pour former les concrétions primaires ou les corpuscules de second ordre. Comme Boyle explique dans *The Origin of Forms and Qualities*, c'est à partir de la disposition structurelle, ou bien de la « texture », des corpuscules :

que la couleur, l'odeur, le goût, et les autres qualités d'un corps doivent être dérivées ; il sera facile de juger tels changements possibles, qui peuvent rendre compte de la génération et corruption des corps, de leur assemblage, dissolution et altération, par la transposition de leur particules constitutives ... Selon nous, les manières différentes par lesquelles plusieurs corpuscules coalescent en un seul corps visible sont suffisantes pour leur donner une texture particulière et les rendre ainsi apte à manifester de nombreuses qualités sensibles, et à devenir un corps, dont la dénomination varie selon le cas.⁵⁸

Il est probable que Boyle serait d'accord avec Newman qui a récemment affirmé que « *la génération de propriétés survenantes à partir de celles sous-venantes, qui est si caractéristique de l'objet des études chimiques, résulte d'une interaction des parties dès*

⁵⁸ Boyle, *The Origin and Forms of Qualities*, 211-3.

lors que ces dernières existent dans une certaine configuration ». ⁵⁹ En fait, Boyle semble avoir anticipé les explications contemporaines de la survenance des propriétés chimiques sur les propriétés physiques sous-venantes. Dans *The Mechanical Origin and Production of Volatility and Fixedness*, Boyle affirme que « *les mêmes parties d'une substance corporelle qui, quand elles sont associées et entrelacées d'une manière déterminée, constituent un corps solide et fixe ... peuvent, en ayant leur texture dissoute et en étant libérées de leurs cohésions antérieures, devenir les parties d'un corps fluide et totalement volatile* ». ⁶⁰ Ailleurs, il déclare que « *quel que soit le nombre ou les qualités des principes chimiques, s'ils existent réellement dans la nature, il peut très probablement être montré qu'ils peuvent être composés de corpuscules insensibles de masse et de forme déterminées ; et découlent de leurs diverses coalitions et textures ... les qualités mêmes de tel ou tel ingrédient résultent de sa texture particulière [ou de sa disposition structurelle]* ». ⁶¹

Dans son essai *The Producibleness of Chymical Principles*, Boyle examine les diverses propriétés chimiques des sels. En examinant la propriété spécifique de solubilité, Boyle affirme qu'« *une disposition pour être dissoluble dans telle ou telle liqueur peut être acquise par le mélange et la nouvelle texture des parties* ». ⁶² Il propose ensuite les exemples du soufre de poudre et du sel de tartre qui, selon lui, ne se dissolvent pas dans l'esprit-de-vin (éthanol). Il remarque, cependant, que « *si ce sel [de tartre] et ce soufre sont mélangés ensemble, en moins d'une heure et parfois en moins d'un quart de ce temps, l'esprit-de-vin dissoudra assez de cette matière pour en être richement coloré, et ceci sans*

⁵⁹ Newman, "Chemical supervenience", 54.

⁶⁰ Boyle, *The Mechanical Origin and Production of Volatility and Fixedness*, 373.

⁶¹ Boyle, *Of the Excellency and Grounds of the Corpuscular or Mechanical Philosophy*, 454-5.

⁶² Boyle, *The Producibleness of Chymical Principles*, 377.

l'aide de chaleur externe ». ⁶³ Il conclut de cette expérience que la solubilité de ce mélange, qui n'est pas une propriété des matières composantes, est une propriété qui émerge de la combinaison du soufre en poudre avec le sel de tartre. En ce qui concerne la propriété de salinité, il parvient à des conclusions similaires et affirme que « *si nous admettons les hypothèses épicurienne ou cartésienne, les premières concrétions salines qui furent produites dans la nature doivent avoir été composées d'atomes ou de particules qui n'étaient pas salines avant leurs conjonctions ... le sel peut-être fait de matière qui n'était pas sel et, par conséquent ... le sel peut se produire de novo* ». ⁶⁴ Boyle est ici d'accord avec Paracelse et Van Helmont que les sels sont productibles à partir d'ingrédients qui ne sont pas des sels, mais souligne aussi que la propriété de salinité émerge de la disposition structurelle particulière (la texture) des concrétions et de leurs interactions, et que cette propriété chimique ne peut pas simplement être expliquée de façon mécaniste. En établissant entre relationalité et structure, Boyle prévoit clairement une grande part du débat actuel en philosophie de la chimie. Le reste de l'essai de Boyle discute des expériences spécifiques pour la production de sels acides, volatiles, et alcalins (ou lixiviés).

Bien que la célèbre expérience de Boyle à propos de la recombinaison du nitrate de potassium soit utilisée pour soutenir la théorie corpusculaire mécaniste de la matière, elle est aussi employée par Boyle pour illustrer que la texture (la disposition structurelle) des concrétions explique les propriétés chimiques d'un corps et que, quand ces textures sont altérées en présence d'un corps de texture différente, l'interaction des coalitions corpusculaires différentes produira des qualités chimiques différentes. Donc, dans la mesure où les mêmes corpuscules fondamentaux peuvent, en principe, être combinées pour

⁶³ Ibid.

⁶⁴ Ibid., 377-8.

former des concrétions de structures différentes, et dans la mesure également où les propriétés chimiques varient selon la structure particulière de la concrétion, il s'ensuit que les propriétés chimiques d'un corps ne peuvent pas simplement être déduites ou réduites aux propriétés mécaniques des corpuscules individuelles de premier ordre. La position de Boyle s'aligne avec l'interprétation contemporaine des propriétés émergentes telle que celle de Shalizi et Crutchfield qui établissent, dans leurs travaux, qu'une propriété est émergente « *si elle est, en quelque manière, nouvelle ou imprévisible, étant donnés les comportements ou les propriétés qui sont manifestés par les composant élémentaires du système* ». ⁶⁵

Dans la mesure où, pour Boyle, les propriétés chimiques surviennent clairement sur les propriétés mécaniques, ceci suggérerait que pour lui les explications chimiques sont irréductibles aux explications physiques et que la chimie, comme science, est autonome et irréductible à la physique. Boyle rend ceci bien clair quand il affirme que « *nous ne pouvons guère mieux rendre compte des phénomènes de nombreux corps en sachant de quels ingrédients ils sont composés que nous pouvons expliquer le fonctionnement d'une montre en sachant de combien et de quelles sortes de métaux sont composés le balancier, les roues, la chaîne, et les autres parties* ». ⁶⁶ Le choix de cette métaphore particulière, c'est-à-dire d'un mécanisme dont le fonctionnement ne peut pas être expliqué simplement en connaissant ses composants individuels, suggère que Boyle répond sans doute ici au réductionnisme implacable et a priori des mécaniciens cartésiens comme Spinoza, en insistant sur le fait qu'un réductionnisme simpliste n'est pas indispensable pour adhérer à la philosophie mécanique. Pour Boyle, la dissolution, la recombinaison, la volatilité, la

⁶⁵ Newth and Finnigan, "Emergence and self-organization in chemistry and biology", 842.

⁶⁶ Boyle, *Of the Excellency and Grounds of the Corpuscular or Mechanical Philosophy*, 454.

fixité, l'acidité, l'alcalinité, et d'autres opérations chimiques qui sont perçues dans le travail expérimental ne peuvent pas être expliquées en s'appuyant simplement sur les propriétés physiques fondamentales des particules primaires. Il croit clairement qu'une compréhension mécanique des *minima naturalia* est parfaitement compatible avec une théorie complexe de la matière qui permet des explications chimiques pour les propriétés qui sont exprimées dans les réactions chimiques. Il défend vigoureusement cette compatibilité en déclarant que « *les principes mécaniques sont si universels, et donc applicables à tant de choses, qu'ils sont plutôt adaptés pour inclure, et non pas pour exclure, toute autre hypothèse qui soit fondée dans la nature, autant que cela soit possible* ». ⁶⁷ Puisque Boyle comprend que l'autonomie de la chimie comme science dépend de son irréductibilité épistémologique, il s'efforce de développer des explications chimiques plutôt que strictement mécaniques, et il fonde ses explications sur une théorie corpusculaire hybride dans laquelle existent à la fois les propriétés mécaniques et chimiques, et dans laquelle ces deux groupes de propriétés jouissent d'efficacité causale.

CONCLUSION

Comme il a été établi dans cet essai, Boyle anticipe beaucoup de questions fondamentales qui seront posées plus tard par les philosophes de la chimie. Celles-ci sont les questions de réductions ontologique et épistémologique, d'émergence et de survenance, et d'autonomie disciplinaire. Mais il anticipe aussi les questions de disposition structurelle, de relationnalité des propriétés, et de méréologie des niveaux supérieurs et inférieurs d'organisation. Comme Harré et Llored nous le font remarquer, « *depuis la philosophie*

⁶⁷ Ibid., 453.

corpusculaire de Robert Boyle, la chimie a été une science méréologique. En déplaçant la métaphysique de ‘substances continues’ et de ‘qualités’ comme expressions de ‘principes’, la chimie a été construite sur une métaphysique ‘de partie et de tout’ ».⁶⁸ La question qui est explorée par certains philosophes contemporains de la chimie concerne la nature de méréologie applicable à la chimie, en ébauchant l’élaboration d’une méréologie non standard. Bien que Boyle lui-même ne fût jamais impliqué dans ce genre d’enquête philosophique, il aurait très probablement pris le parti d’une méréologie non standard car il ne soutenait pas entièrement le réductionnisme cartésien. Si Boyle avait appuyé une interprétation strictement a priori et cartésienne du corpuscularisme et avait ignoré les résultats empiriques de ses propres travaux expérimentaux, il se serait ouvert à la possibilité réductionniste de la méréologie standard de manière que le ‘tout’ ne doit manifester que les propriétés qui sont inhérentes dans ses ‘parties’ et que toutes les propriétés manifestées par ce ‘tout’ doivent être entièrement réductibles aux propriétés de ces ‘parties’. Cependant, en tant qu’expérimentateur, Boyle résiste à cette approche. Son propre travail expérimental le guide dans la direction de ce que nous appelons aujourd’hui une méréologie non standard. L’expérience de Boyle avec la recombinaison du nitrate de potassium est particulièrement illustrative de ce point, comme le sont ses écrits sur la salinité dans lesquels il reconnaît que « *les premières concrétions salines qui furent produites dans la nature doivent avoir été faites d’atomes ou de particules qui n’étaient pas salines avant leurs conjonctions ... le sel peut-être fait de matière qui n’était pas sel* ».⁶⁹ Boyle comprend que les propriétés du « tout » ne sont pas toujours déductibles à partir des propriétés de ses « parties ». Bien que, en tant que chimiste du XVII^e siècle, il lui

⁶⁸ Harré et Llored, “Mereologies as the grammars of chemical discourses”, 1.

⁶⁹ Boyle, *The Producibility of Chymical Principles*, 377-8.

manque le vocabulaire philosophique approprié pour articuler ses idées en termes méréologiques, certains de ses écrits anticipent cependant clairement les préoccupations de la méréologie contemporaine en ce qui concerne la philosophie de la chimie.

Dans ses écrits expérimentaux, Boyle ne pose pas seulement des questions fondamentales sur les dispositions, les propriétés relationnelles, et les relations méréologiques, mais il développe aussi une ontologie hybride de corpuscules de premier ordre et d'ordres supérieurs pour expliquer le fait expérimental que les niveaux supérieurs d'organisation manifestent des propriétés qui ne sont pas manifestées aux niveaux inférieurs. Le but de cette ontologie hybride, qui accepte à la fois une conception mécaniste du niveau ontologique inférieur et une conception non réductionniste des niveaux ontologiques supérieurs, est d'expliquer les phénomènes chimiques qu'il rencontre dans son travail expérimental d'une manière non réductionniste et qui accueille les notions que nous qualifions aujourd'hui d'émergence et de survenance des propriétés chimiques. Cette ontologie hybride lui permet aussi de défendre l'autonomie des lois chimiques et de la chimie comme science indépendante contre la vision cartésienne qui dominait le débat sur ces questions au XVII^e siècle. Bien que la chimie et l'ontologie chimique aient beaucoup évolué depuis l'époque de Boyle, ses opinions sur les questions philosophiques fondamentales du réductionnisme, de l'émergence, et de l'autonomie de la chimie semblent trouver leur écho dans les positions prises par de nombreux et éminents philosophes contemporains de la chimie.

REFERENCES

Bitbol, Michel. "Downward causation without foundations." *Synthese* 180 (2010): 1-23.

Boyle, Robert. *An Essay of various Degrees or kinds of the Knowledge of natural things*. In *Royal Society Boyle Papers*, Vol. VIII.

_____. *The Mechanical Origins and Production of Volatility and Fixedness*. In *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle; abridged, methodized, and disposed under the general heads of physics, statics, pneumatics, etc. by Peter Shaw*, Vol. 1. London: Printed for W. and J. Innys, and J. Osborn, and T. Longman, 1725.

_____. *The Origin of Forms and Qualities*. In *The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle; abridged, methodized, and disposed under the general heads of physics, statics, pneumatics, etc. by Peter Shaw*, Vol. 1. London: Printed for W. and J. Innys, and J. Osborn, and T. Longman, 1725.

_____. *Of the Excellency and Grounds of the Corpuscular or Mechanical Philosophy*. In *The Works of the Honourable Robert Boyle*, edited by Thomas Birch, Vol. 3. London: Printed for A. Millar, 1744.

_____. *The Producibleness of Chymical Principles*. . In *The Works of the Honourable Robert Boyle*, edited by Thomas Birch, Vol. 1. London: Printed for A. Millar, 1744.

_____. *A History of Colours*. In *The Works of the Honourable Robert Boyle*, edited by Thomas Birch, Vol. 1. London, W. Johnston, S. Crowder, T. Payne et. al., 1772.

Bunge, Mario. "Is chemistry a branch of physics?" *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 13: 209-23 (1982).

Clericuzio, Antonio. "A redefinition of Boyle's chemistry and corpuscular philosophy." *Annals of Science* 47 (1990): 561-89.

Clericuzio, Antonio. *Elements, Principles and Corpuscles: A Study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*. Dordrecht: Springer, 2000.

Earley, Joseph. "Varieties of Properties: An alternative distinction among qualities." In *Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy*, edited by Joseph E. Earley, 80-89. New York: New York Academy of Sciences Publisher, 2003.

Earley, Joseph. "Why there is no salt in the sea." *Foundations of Chemistry* 7 (2005): 85-102.

Francescotti, Robert M. Emergence. *Erkenntnis* 67 (2007): 47-63.

- Harré, Rom and Jean-Pierre Llored. “Mereologies as the grammars of chemical discourses.” *Foundations of Chemistry* 13 (2011).
- Hendry, Robin F. “Is there downward causation in chemistry?”. In *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*, edited by Davis Baird, Eric R. Scerri, and Lee McIntyre, 173-190. Dordrecht: Springer, 2006.
- Joly, Bernard. “Chimie et mécanisme dans la nouvelle Académie royale des sciences: les débats entre Louis Lémery et Etienne-François Geoffroy”. *Methodos* 8 (2008): 2-22.
- Kim, Jaegwon, “Making sense of emergence.” *Philosophical Studies* 95 (1999): 3-36.
- Llored, Jean-Pierre. “Mereology and quantum chemistry: The approximation of molecular orbital.” *Foundations of Chemistry* 12 (2010): 203-21.
- Newman, Micah. “Chemical supervenience.” *Foundations of Chemistry* 10 (2008): 49-62.
- Newth, David and John Finnigan. “Emergence and Self-Organization in Chemistry and Biology.” *Australian Journal of Chemistry* 59 (2006): 841-48.
- Pauling, Linus. *The Nature of the Chemical Bond*. Itahca: Cornell University Press, 1939.
- Primas, Hans. *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*. 2nd edition. Berlin: Springer Verlag, 1983.
- Putnam, Hilary and Paul Oppenheim. “Unity of science as a working hypothesis.” In *Concepts, Theories, and Mind-Body Problem*, edited by Herbert Feigl, Scriven, M., and Grover Maxwell, 3-36. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1958.
- Ramsey, Jeffry L. “Molecular shape, reduction, explanation and approximate concept.” *Synthese* 111 (1997): 233-51.
- Rossi, Paolo. *The Birth of Modern Science*, translated by Cynthia De Nardi Ipsen. Oxford: Blackwell Publishers, 2001.
- Scerri, Eric. “Has chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics?” *PSA*, Vol. I (1994): 160-70.
- Scerri, Eric and Lee McIntyre. “The case for the philosophy of chemistry.” *Synthese* 111 (1997): 213-32.
- Smets, Alexis. “The controversy between Leibniz and Stahl on the theory of chemistry.” In *Neighbours and Territories: The Evolving Identity of Chemistry*, edited by José Ramón Bertomeu-Sánchez, Duncan

Thorburn Burns, and Brigitte van Tiggelen, 291-306. Louvain-la-neuve: Mémosciences, 2008.

Teller, P.: A contemporary look at emergence. In *Emergence or Reduction? Essay on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, edited by Ansgar Beckerman, Hans Flohr, and Jaegwon Kim, 139-153. Berlin: De Gruyter, 1992.

Weininger, Stephen J. "The molecular structure conundrum: Can classical chemistry be reduced to quantum chemistry?" *Journal of Chemical Education* 61 (1984): 939-44.