

Etienne SONVEAUX

Faculté de pharmacie et des sciences biomédicales,  
Université Catholique de Louvain (UCL)  
LDRI – Avenue Mounier, 73 Bte B1.73.10, 1200 Bruxelles,  
[etienne.sonveaux@uclouvain.be](mailto:etienne.sonveaux@uclouvain.be)

# Spinoza et le mouvement des particules dans un gaz

Spinoza est un philosophe de tradition juive mais d'inspiration cartésienne, qui a vécu aux Pays-Bas de 1632 à 1677. Sa vision du monde tente de concilier la stabilité de l'être avec l'évanescence du vécu. Son œuvre principale est l'« Ethique », publiée après sa mort.

Les philosophes, au fil de l'histoire et selon leur tempérament, ont mis en avant, soit la stabilité et l'éternité de l'être, soit la dynamique du changement. De façon laconique : « si l'on vit, on n'est pas (puisqu'on change) et si l'on est, on ne vit pas (puisqu'on ne change pas) ». Qu'est-ce qui demeure et qu'est-ce qui bouge ?



La chimie s'est attaquée au même problème. D'un côté la thermodynamique étudie les propriétés des états. D'un autre côté, la cinétique étudie le passage d'un état à un autre. Un état thermodynamique correspond au concept d'être (tel qu'une mole de gaz dihydrogène confinée dans un récipient fermé, à pression de une atmosphère et à 298 kelvin). Pour l'observateur extérieur, sauf accidents, cette mole de gaz dihydrogène reste telle quelle pour l'éternité, de façon immuable. Le temps n'est pas une variable thermodynamique. Par contre, si on se faisait aussi petit qu'une molécule  $H_2$ , le même état serait caractérisé par une agitation forcenée. Le concept de stabilité globale pourrait difficilement être perçu par un nain minuscule qui chevaucherait une molécule de dihydrogène, au sein de la mole considérée. Il n'y verrait que mouvements frénétiques et chocs violents. La chimie nous enseigne donc qu'il y a deux aspects à la matière. L'un est macroscopique : il s'agit de l'état d'une mole d'une substance à l'équilibre thermique. L'autre est sub-microscopique : il s'agit des innombrables fluctuations dans le mouvement des  $6,02 \cdot 10^{23}$  particules constitutives de la mole. Dans le cas d'un gaz, on parle du mouvement aléatoire des particules. Un objet (une mole de gaz) peut être considéré à la fois comme stable et éternel (l'être) et infiniment dynamique (la vie). Ce n'est qu'une question de point de vue.

Pour concilier l'être et la vie, Spinoza considère qu'un humain, dans sa vie de tous les jours, est comme le nain minuscule chevauchant une molécule  $H_2$ , évoqué plus haut. De façon révolutionnaire pour l'époque, il croit que l'homme n'est pas la finalité de l'univers, mais que l'homme est dans

son petit monde à lui, comme serait un animalcule microscopique sur son grain de sable. Après Galilée et Vésale, mais avant Darwin et Freud, Spinoza diminue considérablement les prétentions humaines.

Pour comprendre la vision spinoziste des choses, il faut d'abord accepter que l'on ne sait strictement rien dire sur l'« être » des philosophes, sauf, précisément, qu'il est. L'« être » des philosophes est un « oui » global, source de « il y a ». Dans ce « il y a », on trouve le connu (qui est notre réel), le (provisoirement) inconnu et le (provisoirement) inconnaissable. Donnons un exemple, afin de nous faire comprendre. Du point de vue de nos ancêtres néolithiques, un avion serait à classer dans l'inconnaissable. Pour Léonard de Vinci, un avion serait à classer dans le connaissable, provisoirement inconnu. Pour nous, un avion est à classer dans le connu. La science et la technologie font passer divers objets du statut d'inconnaissable au statut d'inconnu, puis de connu. Selon Spinoza, le connu, c'est-à-dire notre réel, n'est qu'une minuscule partie de « il y a ». Cette position est raisonnable. A un moment donné de l'histoire humaine, l'Amérique n'était pas dans le réel occidental. Et que dire des ondes radio, des rayons X, de la radioactivité etc. ! A un moment donné et à un endroit donné, le réel est la petite partie de « il y a » qu'une culture perçoit. Le « réel » contemporain résulte du cheminement particulier que *l'homo sapiens* a suivi, au cours de son histoire, dans le gigantesque paysage de « il y a ». Spinoza nomme l'« être », « substance ». Il donne le nom de « Nature » à « il y a ». « Il y a » est l'objet des intuitions scientifiques et des études expérimentales, mais pas la « substance ». En termes bibliques, la « substance » serait Dieu et notre réel, une toute petite partie de la révélation divine, entièrement ouverte et évolutive (Spinoza estime qu'un Dieu personnel est une aberration). Le changement, le mouvement, l'évanescence des choses ne serait que la perception humaine de « il y a », qui, quant à lui, est total, unique, stable et éternel. « Il y a » est généré par la « substance », mais s'en distingue parce qu'il est constitué d'éléments comptables, quantifiables, alors que la « substance » est inaccessible. Notre réel contemporain serait la mémoire collective d'une piste particulière dans « il y a ».

Ce petit détour par la philosophie spinoziste était nécessaire pour situer le cadre du passage de l'Éthique où Spinoza décrit ce qu'on pourrait assimiler, de nos jours, au mouvement des particules dans un gaz. Ce passage fait l'objet du présent article. Au dix-septième siècle, Spinoza

était évidemment incapable de décrire le mouvement des particules dans un gaz. Son idée était de montrer comment une agitation locale (notre réel ici et maintenant) pouvait être compatible avec une stabilité et une éternité globale (« il y a »). Son modèle, quoique destiné à être un modèle du monde, est tellement proche de celui du mouvement des particules dans un gaz qu'il m'a semblé intéressant de le citer et de le commenter dans cet article. Il s'agit, en quelque sorte, d'un hommage rendu à l'un des grands esprits que l'Occident a connu.

La description de ce que l'on pourrait appeler le mouvement brownien dans un gaz se situe entre les propositions XIII et XIV de la seconde partie de l'Éthique, intitulée « De la Nature et de l'Origine de l'Esprit ». Le texte utilisé est la traduction de Bernard Pautrat, publiée aux éditions du Seuil en 2010 [1]. Le texte original est cité en italique. Les commentaires ajoutés utilisent la police standard. Un astérisque indique une auto-référence de Spinoza (à un autre passage de l'Éthique). Comme ces auto-références brisent la continuité du texte, il semblait préférable de les masquer. Spinoza a découpé l'Éthique, de façon plus ou moins arbitraire, en « définitions », « axiomes », « propositions », « démonstrations », « corollaires », « lemmes », « scolies » etc., comme s'il s'agissait d'un livre de géométrie. Je n'ai pas tenu compte de ces divisions, qui rompent la continuité du texte. La forme austère de l'Éthique (celle d'un traité de géométrie) et sa langue (le latin) permettaient de cibler un lectorat fait de rares intellectuels avertis. L'Éthique était tellement audacieuse, au XVII<sup>ème</sup> siècle, qu'il valait mieux ne pas en faire un « best-seller » scandaleux, conduisant son auteur au gibet. De plus, Spinoza ne voulait pas séduire, mais convaincre.

Spinoza commence par des généralités de physique (il est dix ans plus âgé que Newton). Pour appliquer ce qu'il écrit au mouvement des particules dans un gaz, supposons qu'il parle d'une mole de gaz dihydrogène confinée dans un récipient, à 1 atm et 298K.

*« Tous les corps [supposons, les molécules H<sub>2</sub>] sont soit en mouvement, soit au repos. Chaque corps se meut tantôt plus lentement, tantôt plus rapidement. Les corps se distinguent entre eux sous le rapport du mouvement et du repos, de la rapidité et de la lenteur, et non sous le rapport de la substance. Je suppose que la première partie va de soi. Et que les corps ne se distinguent pas sous le rapport de la substance\* [toutes les molécules sont identiques].*

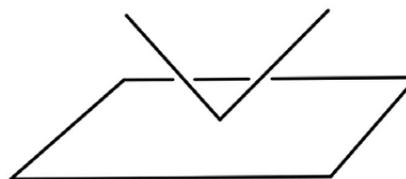
Tous les corps conviennent en certaines choses [c.-à-d., toutes les molécules ont certaines choses en commun]. En effet tous les corps conviennent en celles-ci : qu'ils enveloppent le concept d'un seul et même attribut\* [ce sont des molécules H<sub>2</sub> identiques]. Et ensuite, qu'ils peuvent se mouvoir tantôt plus lentement, tantôt plus rapidement, et, absolument parlant, tantôt se mouvoir et tantôt être au repos. »

Spinoza décrit ensuite le mouvement rectiligne uniforme des particules, entre deux chocs aléatoires.

« Un corps en mouvement ou au repos a nécessairement été déterminé au mouvement ou au repos par un autre corps, qui lui aussi a été déterminé au mouvement ou au repos par un autre, et celui-ci à son tour par un autre, et ainsi à l'infini. Les corps\* sont des choses singulières, qui\* se distinguent entre elles sous le rapport du mouvement et du repos ; et par suite\* chacun a dû nécessairement être déterminé au mouvement ou au repos par une autre chose singulière, à savoir\* par un autre corps, lequel\* est lui aussi en mouvement ou au repos. Et celui-ci aussi (pour la même raison) n'a pu se mouvoir ou être au repos à moins d'avoir été déterminé au mouvement ou au repos par un autre, et celui-ci à son tour (pour la même raison) par un autre, et ainsi à l'infini. De là suit qu'un corps en mouvement se meut aussi longtemps qu'un autre corps ne le détermine pas au repos ; et qu'un corps au repos, également, demeure au repos aussi longtemps qu'un autre ne le détermine pas au mouvement. Ce qui va également de soi. Car, quand je suppose qu'un corps, par ex. A, est au repos, si je ne prête attention aux autres corps qui sont en mouvement je ne pourrai rien dire du corps A, sinon qu'il est au repos. Que s'il arrive ensuite que le corps A se meuve, cela n'a pu à coup sûr provenir de ce qu'il était au repos, car de cela il ne pouvait rien suivre d'autre, sinon que le corps A restât au repos. Si au contraire on suppose que A est en mouvement, chaque fois que nous prêtons attention seulement à A nous ne pourrons rien en affirmer, sinon qu'il est en mouvement. Que s'il arrive ensuite que A soit au repos, cela non plus n'a pu à coup sûr provenir du mouvement qu'il avait, car du mouvement il ne pouvait rien suivre d'autre, sinon que A fût en mouvement : et donc, cela survient d'une chose qui n'était pas en A, c'est-à-dire d'une cause extérieure, qui l'a déterminé au repos. »

Spinoza précise que tous les corps en mouvement ne sont pas assimilables à des sphères rigides. Les

trajectoires dépendent des propriétés des objets. Par exemple, si une sphère rebondit sur un plan fixe, l'angle d'incidence égale l'angle de réflexion :



« Toutes les manières dont un corps est affecté par un autre corps suivent de la nature du corps affecté et en même temps de la nature du corps affectant ; de sorte qu'un seul et même corps est diversement mû en fonction de la diversité des corps qui le meuvent, et que, par contre, des corps divers sont diversement mus par un seul et même corps. Quand un corps en mouvement en frappe un autre qui est au repos sans pouvoir l'écarter [la sphère qui rebondit sur un plan fixe], il est réfléchi de manière qu'il continue de se mouvoir, et l'angle que fait la ligne du mouvement de réflexion avec le plan du corps au repos qu'il a frappé sera égal à l'angle que fait la ligne du mouvement d'incidence avec ce même plan. »

Spinoza remarque ensuite qu'une collection de particules en mouvements, délimitée par une surface, constitue un ensemble macroscopique. Dans notre exemple il passerait du microscopique au macroscopique (de la molécule H<sub>2</sub> à la mole). Une molécule H<sub>2</sub> peut être considérée comme un « corps », mais du gaz dihydrogène confiné dans un récipient est aussi un « corps ».

« Voilà pour les corps les plus simples, ceux qui ne se distinguent entre eux que par le mouvement et le repos, la rapidité et la lenteur [les molécules H<sub>2</sub>] : élevons-nous maintenant aux composés [la mole de dihydrogène].

Quand un certain nombre de corps, de même grandeur [des molécules identiques] ou de grandeur différente, sont pressés par les autres de telle sorte qu'ils s'appliquent les uns aux autres [cas d'un liquide] ou bien, s'ils sont en mouvement (à la même vitesse ou à des vitesses différentes), de telle sorte qu'ils se communiquent les uns aux autres leurs mouvements selon un certain rapport précis [cas du gaz H<sub>2</sub> confiné dans un récipient], ces corps nous les dirons unis entre eux, et nous dirons qu'ils composent ensemble un seul corps, autrement dit un Individu [par exemple, une mole de H<sub>2</sub> confinée

dans un récipient fermé], *qui se distingue de tous les autres par cette union de corps.* »

Spinoza a l'intuition qu'un « Individu » (macroscopique) résulte de l'accumulation de particules (« molécules ») en mouvement. Il prédit ensuite que les grosses particules devraient former des solides, à cause des surfaces de contacts intermoléculaires importantes. Les petites particules, à cause de leurs petites surfaces de contact, devraient être des liquides ou des gaz.

*« Plus sont grandes ou petites les surfaces suivant lesquelles les parties d'un Individu, ou d'un corps composé, s'appliquent les unes sur les autres, plus il est difficile ou facile de les forcer à changer de place, et par conséquent plus il est difficile ou facile de faire que l'Individu même revête une autre figure [les points de fusion et d'ébullition s'élèvent si la taille des particules augmente, comme par exemple dans la série des hydrocarbures  $C_nH_{2n+2}$ ]. Et par là, les corps dont les parties s'appliquent les unes sur les autres suivant de grandes surfaces, je les appellerai durs ; suivant de petites surfaces, mous ; et ceux enfin dont les parties se meuvent les unes dans les autres, fluides. »*

Les mouvements aléatoires font qu'en tout point de l'espace, une particule peut être remplacée par une autre, sans changement macroscopique, au gré des fluctuations locales :

*« Si d'un corps, autrement dit d'un Individu, composé de plusieurs corps [une mole de gaz dihydrogène composée de molécules  $H_2$ ], certains corps se séparent [des molécules  $H_2$  quittent leur place], et qu'en même temps d'autres corps de même nature et en nombre égal viennent prendre leur place, l'Individu gardera sa nature d'avant, sans changement de forme. En effet, les corps\* [les molécules  $H_2$ ] ne se distinguent pas sous le rapport de la substance ; et ce qui constitue la forme d'un Individu consiste\* en une union des corps [une mole est une « union » de  $6,02 \cdot 10^{23}$  molécules] ; or celle-ci\*, malgré un échange continu de corps, sera maintenue : donc l'Individu gardera, tant sous le rapport de la substance que sous celui de la manière, sa nature d'avant\*. »*

Spinoza estime que ce qui importe pour décrire un état macroscopique soumis à des mouvements aléatoires (tel un gaz), c'est le nombre de particules et leur énergie de mouvement :

*« Si les parties composant un Individu viennent à être plus grandes ou plus petites, mais en proportion telle qu'elles conservent toutes entre elles le même rapport de mouvement et de repos qu'avant, l'Individu semblablement gardera sa nature d'avant, sans changement de forme\*. »*

Cela veut dire que, si dans la moitié d'un gaz constitué de particules X, les particules devenaient deux fois plus volumineuses (et deux fois plus pesantes) et que, dans l'autre moitié, elles devenaient deux fois moins volumineuses (et deux fois moins pesantes), rien ne changerait au niveau macroscopique, tant que l'énergie d'agitation thermique reste constante. La masse totale resterait la même et les autres propriétés macroscopiques également (P et V). En effet, le produit PV d'un gaz parfait ne dépend que du nombre de particules et de la température ( $PV = nRT$ ).

*« Si certains corps composant un Individu sont contraints de détourner le mouvement qu'ils ont vers quelque part vers autre part, mais de telle sorte qu'ils puissent continuer leurs mouvements et se les communiquer les uns aux autres selon le même rapport qu'avant, l'Individu semblablement gardera sa nature, sans changement de forme. C'est évident par soi. Car il garde, par l'hypothèse, tout ce que nous avons dit, dans sa définition, constituer sa forme. »*

C'est une manière d'exprimer que, par exemple, une mole de gaz  $H_2$  à 1 atm et 298 K est à l'équilibre thermique.

*« En outre, un Individu ainsi composé garde sa nature qu'il se meuve en totalité, qu'il soit au repos, qu'il se meuve vers ici ou vers là, pourvu que chaque partie garde son mouvement et le communique aux autres comme avant. C'est évident à partir de sa définition\*. »*

Evidemment, si on déplace le récipient contenant un gaz à l'équilibre thermique, il n'est modifié en rien.

Quand on considère un mélange de particules de natures différentes en mouvements aléatoires, la composition globale du mélange sera la même que la composition de chacune de ses parties (pour autant qu'elles ne soient pas trop petites) :

*« Nous voyons donc par là de quelle façon un Individu composé [par exemple, une mole de gaz  $H_2$  confinée dans un récipient] peut être affecté de nombre de manières tout en conservant néanmoins sa nature. Et jusqu'ici nous avons conçu un Individu composé de corps qui ne se distinguent entre*

*eux que par le mouvement et le repos, la rapidité et la lenteur, c'est-à-dire qui est composé des corps les plus simples [dans notre exemple, les molécules H<sub>2</sub>]. Que si maintenant nous en concevons un autre, composé de plusieurs Individus de nature diverses, nous trouverons qu'il peut être affecté de plusieurs autres manières tout en conservant néanmoins sa nature [il s'agirait d'un mélange de gaz différents, par exemple H<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>]. Car, puisque chacune de ses parties est composée de plusieurs corps, elles pourront donc\* chacune se mouvoir tantôt plus lentement tantôt plus rapidement, et par conséquent communiquer aux autres leur mouvement plus rapidement ou plus lentement, sans changement de nature. »*

Par cette remarque Spinoza prépare la suite de ses réflexions.

La matière est constituée de niveaux d'organisation. Une mole de gaz est un niveau d'organisation qui a son comportement propre (lois statistiques). Il s'agit d'un premier type d'« individu », au sens de Spinoza. Au niveau inférieur, une molécule isolée est une cohérence fonctionnelle répondant à d'autres lois. Il s'agit aussi d'un « individu ». En-dessous encore, les atomes peuvent être considérés comme des « individus » dont l'assemblage forme une molécule. Enfin, les particules subatomiques sont des « individus » dont l'assemblage forme un atome. La matière est donc organisée comme un assemblage de poupées russes s'emboîtant l'une dans l'autre.

En passant d'un niveau d'organisation inférieur à un niveau d'organisation supérieur, l'échelle de temps est modifiée. Une certaine échelle de temps est associée aux mouvements électroniques (un électron est un oscillateur). Cependant, au niveau d'organisation supérieur qu'est l'atome, nous utilisons un modèle quantique où le temps n'est pas une variable. Sauf réaction nucléaire, un atome isolé est considéré comme immuable et éternel. Une mole d'atomes ou de molécules étant constituée de masses en mouvement, une nouvelle échelle temporelle apparaît à ce niveau. L'échelle de temps du mouvement des masses est découplée de celle des particules subatomiques (principe de Franck-Condon). Finalement, les molécules d'une mole de gaz dihydrogène à 1 atm et 298 K sont animées d'un mouvement frénétique, mais, dans l'échelle de temps humaine, cet état thermodynamique est considéré comme un tout immuable et, sauf accident, éternel. A une échelle supérieure encore, les temps géologiques sont découplés des temps humains (on construit un pont sans se soucier de la dérive des

continents). L'éternité serait donc une question de point de vue ! Il en serait de même pour tous les autres aspects de notre réel. Spinoza conclut ainsi :

*« Que si en outre nous concevons un troisième genre d'Individus composé de ces seconds Individus, nous trouverons qu'il peut être affecté de bien d'autres manières sans changement de forme. Et si nous continuons encore ainsi à l'infini, nous concevons facilement que la nature tout entière est un seul Individu dont les parties, c'est-à-dire tous les corps, varient d'une infinité de manières sans que change l'Individu tout entier. Et cela, si l'intention avait été de traiter du corps ex professo, j'aurais dû l'expliquer et le démontrer de façon plus prolixe. Mais, je l'ai déjà dit, c'est autre chose que je veux, et si j'en fais mention ici, c'est uniquement parce que, de là, je peux facilement déduire ce que je me suis proposé de démontrer ».*

Spinoza est un philosophe et même plutôt un théologien. Le problème qui l'intéresse, c'est le lien entre l'être et le mouvement, ce lien qui fait constater que « si l'on vit, on n'est pas et que si l'on est, on ne vit pas ». Une des pistes qu'il évoque est donc l'échelle à laquelle on considère un corps. A grande échelle, c'est le calme plat. A petite échelle, c'est une agitation folle. Il est légitime, à l'heure actuelle, d'appliquer ce modèle à la vision macroscopique ou microscopique d'une mole de gaz. Il s'agit, respectivement, d'un état thermodynamique stable, à l'équilibre thermique, et de l'agitation frénétique de ses particules constitutives. L'être est global. Les fluctuations sont locales. Ce n'est pas parce que notre réel est fluctuant que « il y a » ne serait pas stable. Finalement, selon Spinoza, le changement est une perception locale d'un tout petit animalcule appelé « homme », alors que « il y a » (aux dimensions inimaginables) est immuable et éternel.

## Références

- [1] Spinoza, 'Ethique. Présenté et traduit par Bernard Pautrat. Nouvelle édition soigneusement revue et amendée', Editions du Seuil, Paris, 2010.