

Des atomes
dans mon café crème

Pablo Jensen

Des atomes dans mon café crème

La physique peut-elle tout expliquer ?

Éditions du Seuil

La première édition de cet ouvrage a été publiée
dans la collection « Science Ouverte »
en février 2001 sous le titre :
Entrer en matière
Les atomes expliquent-ils le monde ?

ISBN 978-2-02-129301-2
(ISBN 2-02-039604-1, 1^{re} publication)

© Éditions du Seuil, février 2001

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

A la mamma

Al signor Abuelo

Je voudrais d'abord remercier tous les collègues qui m'ont aidé à mieux connaître l'immense monde des matériaux. Le P^r Claude Esnouf, de l'INSA de Lyon, m'a fait profiter de son immense culture et de son enthousiasme pour tout ce qui concerne la métallurgie, domaine qui m'était pratiquement inconnu au début de la rédaction. Michel Hours, directeur du Centre de plasturgie de Lyon, a su me faire apprécier les plastiques, si souvent méprisés. Ce livre a grandement profité des discussions que j'ai eues avec Cyprien Gay sur les colles, Daniel Evesque et Philippe Claudin sur la matière granulaire, Bernard Maitte sur la difficile partie historique, Sergio Ciliberto et Hernán Larralde sur la physique en général. Merci à Daniel Bideau, Sid Nagel et John Unguris pour leurs illustrations. Les nombreuses discussions que j'ai eues au cours de ces dernières années avec mes collègues du Département de physique des matériaux ont grandement enrichi ce livre, et je suis heureux de remercier le directeur du laboratoire, Alain Perez, ainsi que Jean-Louis Barrat, responsable du groupe « Théorie et modélisation », pour sa lecture critique du manuscrit.

Un grand merci aux amis qui ont bien voulu lire des versions préliminaires de ce livre et l'ont enrichi de leurs commentaires : Pascal Lécaille, Arielle Hyver et Manu Lapasse. J'ai une énorme dette à l'égard d'Isabelle Stengers, Bruno Latour et Jean-Marc Lévy-Leblond pour leurs livres, mais aussi pour leurs commentaires sur ce texte et leurs encouragements. Sachez aussi que ce livre serait encore bien moins lisible sans les corrections impitoyables de ma sœur Brigitte. Impossible enfin d'oublier ici tous ces amis qui m'ont fait connaître ces autres mondes où les atomes n'existent guère : Alessio, Eduardo, Juan Carlos, Mathieu, Mirta, Nancy, Patrice et Pino, sans lesquels ce livre n'aurait sans doute jamais vu le jour.

Y gracias a Paula, por mucho más.

INTRODUCTION

Dans son superbe *Système périodique*, l'écrivain et chimiste italien Primo Levi raconte que, jeune étudiant, il aimait se lancer dans de belles envolées philosophiques à propos de sa décision de s'inscrire en chimie. Cela lui permettrait enfin de comprendre ce qu'est la matière et de s'en rendre maître, ce qui constituait, à ses yeux, la « noblesse de l'homme, acquise au cours de cent siècles d'essais et d'erreurs ». Mais il reconnaît sa présomption après de longues et dures promenades dans les Alpes italiennes avec Sandro, l'un de ses camarades : « Je n'avais pas mes papiers en règle pour parler de la matière. Quel commerce, quelle intimité avais-je eus jusqu'à présent avec les quatre éléments d'Empédocle ? Est-ce que je savais allumer un poêle ? Regarder un torrent ? Est-ce que je connaissais la tempête en altitude ? La germination des graines ? »

Quelle est la particularité du regard des physiciens et des chimistes sur la matière ? Pourquoi doivent-ils se retrancher dans des laboratoires, où le commun des mortels n'a guère accès, pour que leur méthode de connaissance puisse être fructueuse ? Et du reste, les explications qu'ils proposent du comportement, pourtant si familier, de la matière qui nous entoure se révèlent souvent incompréhensibles... Pourquoi la physique est-elle si difficile à comprendre ? Et à quoi bon alors écrire (et, encore pire, lire !) un énième livre de vulgarisation ?

D'abord, parce que la physique peut aider à mieux comprendre, non seulement ces mondes aussi fascinants qu'abstraits de l'infiniment grand ou de l'infiniment petit, mais notre (faussement humble) monde quotidien. Mais je voudrais aller au-delà ! D'abord en présentant comment cette explication scientifique s'est progressivement construite et pourquoi les hommes en sont venus à considérer la matière comme une machine composée d'atomes obéissant aux règles strictes des mathématiques. Ensuite, et c'est là le cœur du livre, en présentant l'autre côté de la scène, ces coulisses que l'on ne voit jamais et où les physiciens mettent au point leurs théories, leur vision du monde. Je voudrais montrer pas à pas et par des exemples concrets comment se construit la vision physicienne de la matière, avec ses *a priori*, ses idées préconçues, ses succès éclatants et aussi ses bêtes noires. Car la physique ne descend pas du ciel : ce sont des hommes et des femmes qui l'ont bâtie ! Après cette visite guidée, j'espère que le lecteur comprendra mieux en quoi consiste ce regard particulier que porte la physique sur la matière, pourquoi les physiciens utilisent les atomes et pourquoi ils sont obligés de passer par les laboratoires...

Surprises de la matière

Prenons un blanc d'œuf, liquide, et mêlons-le à de l'air en fouettant ; qui aurait pu prévoir ce résultat : l'union de deux fluides donne une mousse qui, elle, est assez solide ? Sûrement pas les physiciens et leurs atomes ! Observez un robinet qui fuit : une gouttelette prend forme et grossit... jusqu'à se détacher du reste du liquide : peut-on expliquer comment la goutte parvient à se détacher ? Et pourquoi un autre liquide, le miel, est-il beaucoup plus réticent à se laisser séparer, ce qui d'ailleurs nous complique beaucoup le petit déjeuner, avec ces coulées sur la table quand nous essayons de l'extraire du pot ?

Et ce ne sont pas là les seuls comportements intrigants de la matière. Pourquoi un solide est-il solide ? Parce que ses atomes sont durs ? Ce n'est pas aussi simple... Et comment

expliquer que certains marteaux sont meilleurs, plus résistants (et donc plus chers !) que d'autres ? Les solides portent en effet parfois mal leur nom : pourquoi peut-on les déformer, les casser, et pourquoi sont-ils si différents à cet égard ? Nous craignons de casser un verre, mais personne ne se soucie de laisser tomber une clé... Comment la colle réussit-elle à faire tenir les morceaux ? Nous verrons que les physiciens sont parvenus à trouver des explications assez simples de tous ces phénomènes.

La glace fond et l'eau liquide ainsi obtenue s'évapore lorsque l'on chauffe : nous avons tous appris à l'école la classique trilogie solide-liquide-gaz. Comment expliquer ces changements ? Qu'est-ce que la chaleur ? Et comment comprendre que d'autres corps solides, comme le chocolat ou le beurre, fondent aussi lorsqu'ils sont chauffés, mais brûlent ou noircissent ensuite ? Que devient la classique trilogie ? Et où classer toutes ces substances familières que sont la farine, la purée, le dentifrice ou les mousses, qui ne coulent pas comme les liquides, et ne sont pas non plus des solides ? Qui a dit que la matière, même inerte, était bête, prévisible et sans grand intérêt ?

De la matière aux atomes

La plupart de ces questions sont aussi vieilles que l'humanité. Car, depuis toujours, les hommes ont été confrontés à la matière, et cela les a conduits à essayer de comprendre les raisons des comportements si différents des divers matériaux. Quelles ont été les explications avancées ? Il existe, en Occident, deux grandes traditions. D'abord la vision « vitaliste », qui prend appui sur le monde vivant pour comprendre la matière, et qui a largement dominé toutes les sociétés jusqu'à très récemment. L'alchimie en a été la dernière manifestation dans la communauté scientifique et nous verrons qu'elle mérite mieux que le mépris qui lui est souvent réservé. L'autre grande tradition considère en revanche que la matière est essentiellement inerte, la vie ne se devant qu'à un heureux hasard ou à une intervention divine. Il s'agit de

la vision « atomique », qui est la seule admise aujourd'hui parmi les scientifiques et qui ne s'est imposée que très difficilement, pour des raisons qui sont faciles à comprendre. En fait, nous allons voir que l'ensemble des scientifiques n'a adopté ces minuscules particules que depuis moins d'une centaine d'années. Mais pourquoi a-t-on préféré ce type d'explication ? Nous verrons l'importance qu'a prise la possibilité d'exprimer les propriétés de ces atomes en termes mathématiques et aussi l'influence de l'idée du Dieu tout-puissant des monothéistes. Cet historique des visions de la matière, même s'il est forcément incomplet et simpliste, nous permettra de comprendre un peu mieux la spécificité du regard des physiciens.

Quelle est cette spécificité ? Pour les physiciens, les comportements si divers de la matière quotidienne peuvent (et doivent !) s'expliquer par la combinaison des atomes qui la constituent : on dira ainsi qu'un solide résiste à la cassure parce que ses atomes tiennent bien ensemble. Je montrerai, avec des exemples concrets, comment la vision atomique de la matière éclaire effectivement le comportement de nombreux matériaux. Mais n'est-il pas incroyable qu'il suffise d'une petite centaine d'atomes différents pour expliquer le monde ? Et comment a-t-on pu détecter, en pratique, ces imperceptibles atomes ? Quelles sont les ruses que les scientifiques ont dû employer ? Et puis, dans quelle mesure les atomes peuvent-ils aider les non-scientifiques à comprendre cette matière qu'ils fréquentent tous les jours ? Car nous verrons aussi que l'interprétation scientifique de la matière est loin d'être neutre et qu'elle ne peut être réellement pertinente et efficace en dehors de notre monde technologique. Les atomes sont en effet aussi (peu) utiles aux Indiens d'Amazonie que les voitures...

Comment lire ce livre ?

Ce livre est divisé en trois parties qui apportent plusieurs éclairages complémentaires sur la matière et peuvent être lues indépendamment les unes des autres, selon l'intérêt et

l'humeur du moment. La première partie correspond au parcours de « réduction », et part de la matière pour arriver aux atomes. Elle commence (chapitre 1) par une description de quelques-uns des comportements aussi quotidiens qu'étonnants de la matière, en présentant aussi la personnalité des différents matériaux, vue par des artistes, et le réseau complexe dans lequel ils sont insérés : réalisons-nous à quel point le monde entier est mis en jeu pour nous permettre d'avalier notre tasse de café matinale ? Dans un deuxième chapitre, j'apporterai des éléments historiques sur le regard qu'ont porté les hommes sur la matière, pour mieux mettre en perspective la vision moderne qu'en ont les physiciens. Les explications actuelles sont exposées en détail dans la deuxième partie. Il s'agit de refaire le chemin de la première partie, mais en sens inverse : à partir d'atomes parfaitement connus, on « reconstruit » la matière pour retrouver les comportements présentés dans le premier chapitre. J'illustrerai les explications des physiciens à l'aide d'un grand nombre d'exemples concrets, qu'il n'est évidemment pas nécessaire de lire en totalité. La troisième partie s'appuie sur le travail concret des physiciens pour porter un regard plus critique sur ce qu'ils appellent « comprendre la matière ». Cela concerne d'abord leurs pratiques expérimentales. Dans le chapitre 5, j'essaie de comprendre pourquoi les laboratoires sont aussi essentiels pour la physique. Nous verrons notamment comment les physiciens se débrouillent pour obtenir les atomes à partir d'une matière souvent peu complaisante. Car ces particules ne sont pas simplement « là », attendant depuis toujours d'être découvertes, mais représentent plutôt la réponse de cette matière quotidienne aux exigences très spécifiques de ces scientifiques qui n'admettent que des entités stables et pouvant être décrites par les mathématiques. Pour analyser la matière, les physiciens utilisent assez systématiquement un petit nombre d'« outils » intellectuels qui finissent par constituer des sortes de lunettes à travers lesquelles ils voient le monde. Ces outils seront présentés dans le chapitre 6 qui sera donc un peu technique et pourra être abordé rapidement lors d'une première lecture. Il sera certainement utile aux étudiants qui comprendront le sens de

certaines concepts, souvent utilisés sans grande justification (par exemple les électrons dits « libres », qui sont pourtant fortement reliés à leur environnement). Je souhaite que cette analyse permette de mieux comprendre le regard que les physiciens portent sur la matière : leurs *a priori*, leurs succès et aussi leurs échecs. Ceux-ci sont exposés dans le dernier chapitre, où j'essaie de discuter l'idéologie que ce regard implique ; il pourra être lu indépendamment du reste. Ce point de vue inhabituel sur la physique permettra-t-il de rendre ses explications plus compréhensibles ? Au lecteur d'en juger !

I^{re} PARTIE

De la matière aux atomes

L'étoffe d'un jour

Vu de près, personne n'est simple.

CAETANO VELOSO

Tableau I : Petit déjeuner

Qui n'a déjà remarqué la mauvaise volonté du miel à se laisser détacher de son pot, pour venir se poser sur notre tartine ? Pas de doute : il refuse, jusqu'au dernier filet, de s'en séparer, profitant de notre torpeur matinale. Et, lorsque nous parvenons à l'en détacher, il coule sur la table, sur le pot, sur la tasse. Quelle différence avec le café ou le thé, qui n'hési-

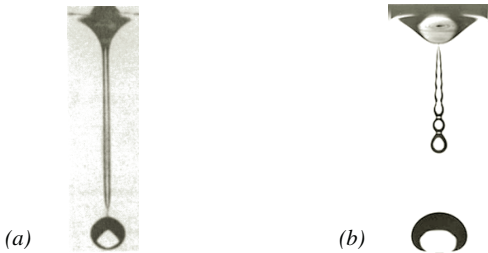


Figure 1.1 : Le miel (a) et l'eau (b) acceptent bien, en dignes représentants des liquides, de laisser couler une larme. Mais, comme le montrent ces images, ils le font de manière fort différente, pour des raisons qui seront dévoilées plus tard.

tent pas : à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuillère ou de la tasse, pas d'adieux qui n'en finissent pas, on se sépare sans états d'âme ! Comment expliquer ces différences de comportement ? Pourquoi le miel coule-t-il aussi langoureusement ? Mais tous les liquides sont compliqués : comment des gouttes de café ou de thé parviennent-elles à se séparer de leurs compagnes pour couler d'une cuillère ? Ce n'est que très récemment que les physiciens se sont intéressés à ces problèmes et ont commencé à les éclaircir...

Le miel enfin étalé sur ma biscotte, je plonge celle-ci dans la tasse de café, ce qui la rend délicieusement et dangereusement molle. On y perd certes le fameux « croustillant » de la biscotte, qui d'ailleurs est très difficile à définir pour les physiciens et à contrôler pour les industriels. Cependant, pour d'obscuras raisons, tremper un biscuit dans le café semble en augmenter la saveur. Lentement mais sûrement, le café progresse dans la biscotte, risquant à tout moment de la rendre trop molle pour résister à la gravité lors du périple jusqu'à la bouche, ce qui entraîne les catastrophes matinales bien connues. Pourquoi le café aime-t-il se glisser dans l'intimité de la biscotte ?

Le café est une substance peu banale à bien d'autres égards, qui intéressent moins les physiciens. Chaque tasse de café représente environ un centième de la production annuelle d'un caféier, probablement planté dans la région montagneuse d'Antioquia en Colombie. Cette région a été entièrement « nettoyée » des forêts qui la recouvraient au début du siècle pour planter des variétés de caféiers plus productives, décimant la faune qui y trouvait refuge. Du coup, des insectes nuisibles au café se sont multipliés et l'usage systématique des pesticides produits dans la vallée du Rhin, en Allemagne, a fini par contaminer aussi bien les sols et les rivières que les poumons des travailleurs saisonniers. Mais la Colombie à elle seule ne pourrait assurer notre café quotidien : une fois séchés, les grains sont transportés par un bateau construit au Japon grâce à l'acier coréen, produit à partir du minerai de fer prélevé sur les terres des aborigènes australiens de Hamersley Range. Et je passe sur le pétrole vénézuélien qui a permis au bateau de traverser l'Atlantique,

RÉALISATION : CURSIVES À PARIS
IMPRESSION : NORMANDIE ROTO IMPRESSION S.A.S. À LONRAI
DÉPÔT LÉGAL : FÉVRIER 2004. N° 62984 ()
IMPRIMÉ EN FRANCE