



La morale fait passer le goût du gain

IVAR EKELAND

Le désir de justice et un certain altruisme social font que nos actes ne sont pas seulement vénaux.

Dans toutes les sciences, les théoriciens font des modèles et les expérimentateurs testent la validité de ceux-ci. En économie, ce rôle est partiellement tenu par les économètres, qui analysent statistiquement des données recueillies sur la production, la consommation et les échanges.

Mais il y a aussi de vrais expérimentateurs, qui conçoivent et réalisent des expériences pour observer le comportement de quelques cobayes dans des situations tests, et confrontent les résultats obtenus aux prédictions de la théorie.

Le résultat le plus constant de ce type d'expériences est que l'être humain n'est pas qu'égoïste, ou du moins qu'il n'est pas que cela. L'intérêt propre et immédiat de chacun est un facteur important dans ses décisions, mais ce n'est pas le seul.

Le jeu dit de l'ultimatum met ce résultat en évidence. La règle est simplissime. Une somme d'argent, mettons cent euros, est à répartir entre deux individus A et B. Le premier, A, propose une répartition. Si B, l'accepte la répartition se fait selon les termes proposés par A. Si B la refuse, l'expérimentateur reprend l'argent. Si les individus ne songeaient qu'à leur intérêt immédiat, A devrait proposer une répartition du style 99 pour A et 1 pour B, et B devrait accepter, car recevoir 1 est toujours mieux que rien. Or ce n'est pas ce que l'on observe : dans la plupart des cas, A propose une répartition du type 50-50, ou 60-40, que B accepte, et dans les rares cas où A propose des répartitions trop biaisées, du type 90-10, B refuse.

Une expérience récente de Gary Charness et Matthew Rabin renouvelle le jeu de l'ultimatum. Ils proposent à des tiers de répartir de l'argent entre deux individus A et B. Deux possibilités leur sont offertes : dans la première, A reçoit 7,50 € et B reçoit 3,75 € ; dans la seconde, A et B obtiennent 4 € chacun. Dans cette variante, B n'a plus le pouvoir de refuser.

Deux arguments d'équité et d'efficacité se présentent immédiatement à l'esprit des tiers décideurs ; malheureusement ils ne conduisent pas au même choix. Examinons d'abord l'argument d'équité : la

première répartition avantage outrageusement A, qui touche le double de B, et il convient donc de préférer la deuxième, rigoureusement égalitaire. Mais il y a aussi un argument d'efficacité : après tout, entre la première répartition et la seconde, la différence pour B est minime, 6,25 pour cent, et ce n'est pas cher payé pour faire un cadeau très important, presque 100 pour cent, à quelqu'un d'autre. Lequel de ces deux arguments va l'emporter ?

Quand G. Charness et M. Rabin font faire le choix par des tierces personnes, les résultats sont parfaitement équilibrés : 50 pour cent des tiers choisissent la première répartition et 50 pour cent la seconde. On voit que le poids de l'argument d'équité est considérable. Dans un deuxième temps, c'est B lui-même qui fait le choix. On pourrait penser que, comme il est directement intéressé au résultat, et que l'argument d'équité est ici secondé par l'intérêt personnel, le choix se fera toujours en faveur de la répartition égalitaire. Il n'en est rien : 40 pour cent des sujets préfèrent encore la première, c'est-à-dire qu'ils choisissent d'avantager autrui au prix d'une petite perte pour eux-mêmes. Si ce n'est pas de l'altruisme, on se demande bien ce qui méritera ce nom, et ce sentiment s'avère assez fort pour combattre efficacement le souci d'équité.

ALTRUISME OU ÉQUITÉ ?

Le troisième temps de l'expérience est le plus intéressant : on laisse B choisir, comme dans le deuxième temps, mais auparavant on lui raconte une petite histoire : on lui dit que A vient de rejeter une répartition qui aurait donné 5,50 € à chacun. En d'autres termes, on soutient que A préfère laisser B choisir entre (7,50 €, 3,75 €) et (4 €, 4 €) que d'accepter immédiatement (5,50 €, 5,50 €). Dans ce cas, la proportion de sujets B qui choisissent la répartition égalitaire (4 €, 4 €) monte à 90 pour cent.

On comprend ce qui se passe dans l'esprit de B. A rejette, pense-t-il, l'offre à (5,50 €, 5,50 €), espérant que lui-même choisira la répartition (7,50 €, 3,75 €). Le

gain pour A sera alors sensible, environ 36 pour cent, mais le gain pour la collectivité sera minime : 11,25 € au lieu de 11 €. Le comportement de A ne peut être justifié ni par l'équité ni par l'efficacité, c'est de l'égoïsme à l'état pur, et B s'empresse de le sanctionner, poussé soit par un désir de justice, comme si chacun de nous était chargé de punir l'injustice, soit par un désir de vengeance, la satisfaction de rendre à A la monnaie de sa pièce, les deux sentiments n'étant nullement incompatibles.

Je suis curieux de savoir ce qui se passerait si, dans le deuxième temps de l'expérience, on avait laissé faire le choix par A plutôt que par B : je pense que l'argument d'équité aurait été assez fort pour convaincre 20 à 30 pour cent des A d'opter pour la répartition égalitaire, bien qu'elle les désavantage par rapport à la première. Telle qu'elle est, cette expérience montre que les individus sont prêts à se sacrifier (un peu) pour autrui, qu'ils recherchent l'équité dans les partages, et qu'ils réagissent à l'injustice, surtout quand ils en sont victimes.

D'autres expériences mettent en lumière un souci de réciprocité : les gens ont tendance à traiter autrui comme ils ont le sentiment d'être traités, à réagir généreusement aux offres qu'ils considèrent comme généreuses, et à se venger de comportements qu'ils estiment mesquins. En principe, rien n'empêche d'intégrer tous ces comportements au modèle habituel de l'*homo economicus* : ce dernier est un froid calculateur, mais cela n'empêche pas les sentiments. Il poursuit rationnellement ses objectifs, mais ceux-ci peuvent être désintéressés, voire altruistes, et le formalisme des fonctions d'utilité (la valeur que chacun donne aux différentes possibilités) a suffisamment de souplesse pour rendre compte d'une multitude de comportements.

C'est bien dans cette voie que s'engage la théorie, mais il me semble cependant qu'une révision plus profonde soit nécessaire. Peut-être l'économie devrait-elle frapper à la porte de l'anthropologie pour apprendre d'elle les structures mentales de l'échange et du don.



Égalité et équilibre

HERVÉ THIS • BERNARD DENOYER • GEORGES BRAM

Les nouveaux programmes de chimie préconisent de remplacer la double flèche par un signe égal. C'est un recul d'un siècle.

Les «compléments» de la nouvelle réforme des programmes prescrivent qu'en classe de terminale scientifique, «le signe égal (=) sera utilisé pour rendre compte du fait que la réaction peut avoir lieu dans les deux sens (sens direct, dans le sens $A + B$ «donne» $C + D$, et sens inverse, dans le sens $C + D$ «donne» $A + B$: $A + B = C + D$).» Cette proposition fait mal : elle réintroduit une notation abandonnée depuis plus de 100 ans. De surcroît, continuent les compléments : «... jusqu'à la fin de la classe de première scientifique, la réaction chimique ne donne pas lieu à un modèle de description au niveau microscopique». Ce second point est tout aussi passéiste. Nous y reviendrons.

L'«innovation» que constitue le remplacement d'une double flèche par un signe = est assortie de commentaires. Par exemple, il est dit que «le signe = adopté en classe de terminale traduit le fait que la réaction chimique – processus de redistribution des atomes entre réactifs et produits – peut se faire dans les deux sens, le sens direct et le sens inverse». Ah bon ? Objection votre honneur : la signification du signe = n'est pas *égale* partout. En langage de programmation, le signe =, comme dans $n = n + 1$, signifie je remplace le terme de gauche par le terme de droite, c'est-à-dire j'augmente n d'une unité !

Un exemple à l'appui de l'introduction éclairante du signe *égal* pour les réactions réversibles est la mise en solution de chlorure d'argent solide. Dans les commentaires des nouveaux programmes, un schéma montre deux flèches, un décrivant le passage de l'ion Ag^+ d'un cristal de chlorure d'argent à l'ion Ag^+ libéré en solution, et l'autre le passage inverse. Pourquoi abandonner les deux flèches, que tous les chimistes réunissent en une double flèche, pour symboliser les échanges ?

C'est à l'université qu'incombera sans doute la tâche de faire comprendre aux élèves que, dans un équilibre chimique, la réaction est dynamique, et s'effectue sans cesse dans les deux sens, ce que ne montre pas le signe =. Quant au déplacement de l'équilibre induit par l'ajout d'une

quantité de réactifs, il nous semble être mieux explicité par les doubles flèches.

Cette querelle de doubles flèches et de signe = s'apparente-t-elle à celle des gros et des petits boutistes de Gulliver ? L'histoire de la chimie montre, au contraire, que le problème du signe = et de la double flèche fut très important dans le développement de la chimie. Lavoisier (1743-1794) introduisit les équations chimiques, en 1782, et, en 1787, il écrivit dans son *Traité élémentaire de chimie* : «Moût de raisin = acide carbonique + alkool». La révolution chimique due à Lavoisier et à ses émules conduisit à utiliser le signe = pour décrire les réactions chimiques : c'était un premier pas.

Puis, à la fin du XIX^e siècle, le signe = est éliminé au profit d'une double flèche par le chimiste néerlandais Jacobus Henricus Van't Hoff (1852 – 1911) : «Déjà l'état de repos qui caractérise un liquide volatil dont la vapeur a atteint sa tension maxima n'est qu'apparent, et résulte d'une condensation et d'une vaporisation équivalentes et simultanées [...]. On ne peut méconnaître la tendance de notre époque, qui s'efforce de développer de plus en plus la conception thermodynamique au détriment de la conception moléculaire [...]. Nous continuerons [cependant] à représenter les phénomènes d'équilibre par un symbole qui exprime d'une manière figurée l'idée qu'on se fait du mécanisme. Les deux flèches en sens contraires indiquent les deux transformations inverses.»

Gageons que dans un grand élan moderniste, la prochaine réforme de l'enseignement de la chimie abandonnera le signe = au profit de la double flèche, et que l'on prendra du recul, pour fonder ces programmes, sur des faits de société. On observera ainsi que : (1) les élèves se détournent des études scientifiques, notamment de chimie ; (2) la chimie est critiquée pour son aspect hermétique, les élèves ayant le sentiment qu'elle est excessivement formelle, qu'elle doit s'apprendre par cœur et non se comprendre ; (3) la chimie française doit une large partie du retard international qu'elle eut au début du XX^e siècle à l'influence de

personnalités telles que Marcelin Berthelot (1827-1907), qui usèrent de toute leur influence pour lutter contre les idées modernes d'atomes et de molécules, au sens où nous les entendons aujourd'hui.

Sur ces bases, notre prochaine réforme montrera aux élèves que le monde matériel se comprend mieux en termes microscopiques, moléculaires. Non seulement il est riche d'une foule de phénomènes insoupçonnés des enfants, mais encore les mécanismes de base éclairent les équations qui font partie de l'habituel catéchisme, tel alcool + acide = ester + eau. Au lieu d'admettre le résultat, l'élève comprend que cette réaction est celle qui doit avoir lieu... et qui a effectivement lieu. L'approche moléculaire permet à l'élève de comprendre.

Rêvons, aussi : pourrait-on enfin s'affranchir des préjugés de Berthelot, et introduire l'idée de molécule dès l'école, sans attendre le second cycle ? L'équation de Schrödinger n'est pas nécessaire pour une première approche de la chimie : il sera bien temps, ensuite, que le collège, puis le lycée pour certains, puis l'université pour un nombre encore inférieur, aillent progressivement préciser l'idée que la science moderne se fait des molécules.

Pour les enfants, y aurait-il grand péril à penser les molécules en termes de billes dures en mouvement ? Et un abord plus précoce ne donnerait-il pas, précisément, plus de temps pour préciser les notions ? N'est-ce pas faire injure à des enseignants dévoués et intelligents que de leur refuser la possibilité de présenter aux enfants des objets que des médias évoquent à l'envie : enzymes gloutonnes, dioxine(s), hydrocarbures, CFC, dioxyde de carbone... L'école de Jules Ferry apprenait à compter et à lire ; celle de Luc Ferry ne pourrait-elle pas expliquer aux enfants dans quel monde (chimique) ils vivent ? Pour cela, commençons simplement par faire l'économie d'une réforme.

H. THIS est physico-chimiste à l'INRA. **B. DENOYER** est professeur de physique-chimie au Lycée Lakanal. **G. BRAM** est professeur émérite à l'Université Paris-Sud.



Le trouble du pastis

HERVÉ THIS

L'alcool trouble les sens, l'eau trouble certaines essences, comme l'anéthole du pastis, ainsi que le mesurent les faisceaux de neutrons.

L'idée lui vint de faire les absinthes, et il commença de les mouiller, délicatement, goutte par goutte, élevant de temps en temps à la hauteur de ses yeux le verre où l'alcool, peu à peu, se colorait sous l'action de l'eau, décomposé en longues spirales nuageuses.

Courteline, *Le train de 8 heures* 47.

Ah, ce léger trouble qui survient quand l'eau ajoutée au pastis promet une désaltération proche ! Le pastis n'a pas l'apanage de cette opacification : se troublent aussi le sirop d'orgeat, ou encore l'absinthe, dont la couleur verte prenait naguère une teinte blanche... Pourquoi ce trouble ? Pourquoi ces changements de couleur ? À l'Institut Laue Langevin de Grenoble, Isabelle Grillo a utilisé un spectromètre de diffusion de neutrons aux petits angles pour répondre à ces questions dans le cas du pastis.

Le pastis du joueur de pétanque est principalement composé d'eau (55 pour cent en volume), d'alcool éthylique (45 pour cent en volume), d'anéthole (environ deux grammes par litre) et de divers composés qui contribuent au goût du breuvage. Contrairement à ce que son nom indique aux chimistes (les alcools ont une désinence en -ol), l'anéthole n'est pas un alcool, mais une molécule aromatique, déjà utilisée dans l'Antiquité pour ses vertus thérapeutiques ou pour parfumer les aliments et les produits de beauté.

L'anéthole est extrait des graines d'anis et de fenouil. C'est un liquide légèrement jaune, très odorant, soluble dans l'alcool éthylique et très peu dans l'eau : les molécules d'eau s'attirent fortement et ne se lient que faiblement avec les molécules d'anéthole ; aussi ne les retiennent-elles pas en leur sein et les molécules d'eau et les molécules d'anéthole constituent-elles des phases séparées. En revanche, les molécules d'alcool ont autant

d'attraction pour l'anéthole que pour leur congénère et les dissolvent en leur sein. Dans la bouteille de pastis, la concentration en anéthole est suffisante pour que l'influence solubilisatrice de ce corps soit prépondérante : l'anéthole reste dissous et le breuvage est transparent. Quand on ajoute de l'eau, l'alcool qui est soluble dans l'eau se lie à l'eau, formant une solution majoritairement aqueuse et l'anéthole, qui se trouve au sein de cette solution, s'en sépare, formant des gouttelettes, qui sont cause de nébulosité.

COULEUR DES ÉMULSIONS

Le lait, la crème, la sauce mayonnaise sont également des émulsions ; leur couleur est due à la réflexion de la lumière sur la surface des gouttes dispersées dans l'eau.

La lumière se réfléchit aussi à la surface des gouttes microscopiques d'anéthole ; de ce fait, l'œil voit de la lumière blanche (si la source est blanche) issue du breuvage. En outre, les gouttelettes d'anéthole, beaucoup plus petites que celles formées avec les corps gras et de la taille de la longueur d'onde de la lumière, diffusent la lumière. En effet, la lumière, qui est une propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique, excite les électrons du matériau qu'elle traverse ; ceux-ci rayonnent (diffusent) dans toutes les directions. Au total, le milieu est nébuleux, car la lumière n'est plus transmise, mais totalement diffusée

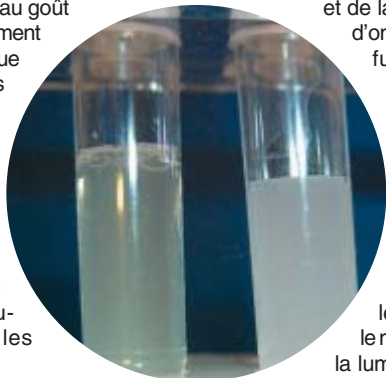
et on ne voit plus les objets derrière la solution. Sur la photographie ci-contre, le pastis est dilué cinq et dix fois : la nébulosité augmente avec la dilution.

Pour corroborer la théorie, il fallait mesurer la taille des gouttelettes. Pour les émulsions telles que la mayonnaise, où les gouttes sont grosses (de l'ordre du dixième de millimètre), les observations ne nécessitent qu'un microscope optique (les

grosses gouttes réfléchissent la lumière). Pour le pastis, en revanche, I. Grillo a dû utiliser des neutrons diffusés à de petits angles, afin de détecter les gouttelettes d'anéthole. La diffusion de neutrons aux petits angles est une technique puissante que les physico-chimistes utilisent pour observer la forme et l'organisation d'objets ayant des tailles comprises entre quelques nanomètres (ou milliardièmes de mètre) et quelques dix-millionnièmes de mètre. Lors des mesures, le comportement nébuleux du composé pur après l'ajout d'eau et d'alcool éthylique a été comparé à celui du pastis vendu dans le commerce. Comme il est recommandé par le fabricant de diluer le pastis par cinq fois son volume, cette dilution a été étudiée, et comparée à une dilution double.

La diffusion de neutrons a révélé que les gouttes d'anéthole ont un rayon proche d'un demi-micromètre, à la température ambiante et juste après la préparation de la boisson-échantillon. Le rayon d'une goutte ne dépend pas de la concentration en anéthole, mais celui du pastis modèle est un peu plus gros que celui du pastis réel. Avec le temps, c'est-à-dire après 12 heures pour l'expérience menée, les gouttes d'anéthole grossissent d'un tiers environ. Ces études ont testé également l'effet de la température sur la taille des gouttelettes d'anéthole : le diamètre double lorsque la température passe de 10 °C à 40 °C (mais qui aurait l'idée de se rafraîchir avec une boisson à cette température ?), ce qui corrobore l'idée selon laquelle une fusion de gouttelettes voisines (favorisée par l'agitation thermique) engendre des structures de plus en plus grosses.

Les tailles, toutefois, restent suffisamment petites pour diffuser la lumière, et c'est seulement une sédimentation qui viendra définitivement à bout de l'émulsion... mais le breuvage sera bu bien avant, puisque, à la température ambiante, il faut plus de deux jours pour que la boisson redevienne claire !



Rendez-vous de France Info et de Pour la Science, le 26 novembre, avec la chronique Info Sciences de M.-O. Monchicourt.