

Les conditions de travail de Bernard s'en trouvent quelque peu améliorées. Trois ans plus tard, Bernard rend la pareille à Pasteur, victime d'une attaque qui l'a partiellement paralysé : il devient le plus assidu de ses visiteurs, lui apportant soutien et réconfort.

De l'alcool à partir du sucre

Quand il était à Lille en 1856, Pasteur avait résolu un problème à la fois scientifique et économique : il avait découvert pourquoi la bière tournait parfois, devenant aigre. Le coupable était une levure, *Lactobacillus*, qui produisait de l'acide lactique au lieu de l'alcool attendu. Le remède était simple : cette levure étant sensible à la chaleur, il suffisait de chauffer la bière pour l'éliminer et laisser les « bonnes » levures fermenter le sucre céréalière en alcool. Dix ans plus tard, Pasteur revient sur ce sujet, cette fois pour prendre part à un vif débat aux implications tant scientifiques qu'industrielles, entourant le principe même de la fermentation : la fermentation alcoolique est-elle activée par la levure elle-même ou par une substance chimique soluble qu'elle produirait ? Tout comme il croit à l'origine microbienne des maladies, Pasteur est persuadé que la levure entière, vivante, est nécessaire à la fermentation. Il s'oppose avec véhémence au jeune chimiste Marcellin Berthelot – et de façon plus mesurée à son ami Bernard. Les deux hommes sont convaincus que les principes actifs du processus sont des « ferments » solubles dérivés de la levure (plus tard nommés enzymes), et non les levures elles-mêmes. Bernard soutient que tout phénomène biologique est le fruit d'un processus physique ou chimique (il s'oppose ainsi à la notion de vitalisme – cette force éthérée invoquée pendant des siècles pour expliquer les éléments autrement inexplicables de la vie et de la maladie). La querelle autour de la fermentation se poursuit pendant 20 ans, principalement entre Pasteur et Berthelot, sans aucune preuve ni d'un côté ni de l'autre. Critiquant sans cesse les opinions et les capacités de Berthelot, Pasteur dépose même une plainte officielle sur la nomination de son adversaire en tant que professeur

Des philosophies de recherche différentes

La meilleure contribution de Bernard à la méthode de la recherche a été son principe de déterminisme expérimental : si, répétée plusieurs fois, une expérience donne des résultats différents, alors les conditions expérimentales associées étaient elles aussi différentes. C'est sur ce point que réside la principale divergence de vue de Pasteur et de Bernard. Les carnets de notes de Pasteur révèlent qu'il répétait parfois une expérience jusqu'à ce

que le résultat confirme sa théorie. Bernard, en revanche, ne se faisait aucune illusion. Dans ses *Principes de la médecine expérimentale* (publiés de façon posthume en 1947), il critique son confrère de façon à peine voilée : « Pasteur suit ses idées et il veut soumettre les faits : moi, je suis les faits, et je cherche à en faire sortir des idées [...]. Pasteur veut diriger la nature ; moi, je me laisse diriger par elle ; je la suis [...]. »

Dans ses derniers jours, Pasteur admit que « Bernard avait raison [...] la graine n'est rien ; le sol est tout ». Se référait-il à la théorie de Bernard sur l'origine des maladies (une déstabilisation du milieu intérieur et non un microbe) – ou à son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, où la graine représente l'idée et le sol, la performance de l'expérience ? Nous ne saurons jamais. Quoi qu'il en soit, l'analogie a un sens profond dans les deux cas.

au Collège de France, se proposant comme candidat plus méritant !

Après la mort de Claude Bernard, en 1878, son assistant de laboratoire, Arsène d'Arsonval, se voit confier le classement des derniers documents académiques de son maître. Dans un tiroir du bureau de son appartement parisien, il découvre un rapport détaillé d'expériences menées dans le Beaujolais quelques mois plus tôt. Les résultats de Bernard révèlent que des ferments solubles de la levure suffisent bien à activer la fermentation alcoolique. La conclusion de Bernard est sans appel : « La

ans plus tard, le chimiste allemand Eduard Büchner confirme que Bernard avait raison. La découverte de Büchner sera récompensée du prix Nobel de chimie en 1907.

Pasteur et Bernard étaient de caractères bien différents. Même s'il savait répondre à ses détracteurs, Bernard était un homme vulnérable, modeste et plutôt timide. Tester l'inconnu avec les modestes ressources dont il disposait et former ses assistants à ses préceptes rigoureux lui suffisaient. Pasteur était audacieux, voire arrogant, recherchant le succès et la fortune (comme dans ses travaux sur la maladie du charbon et la rage, les maladies des vers à soie et des vignes ou la corruption du vin). Il utilisait ses assistants pour promouvoir son image. On a aussi émis l'hypothèse que les efforts de Pasteur pour reproduire les résultats de Bernard sur la fermentation n'avaient pas été très poussés, tout effrayé qu'il était à l'idée qu'il devrait alors admettre son erreur. D'autres se demandent si Bernard, en enterrant ses résultats dans son bureau, n'a pas simplement voulu épargner son vieil ami.

Chacun à leur façon, et bien qu'avec des principes de recherche – attitudes, méthodes et morale – aux antipodes, les deux hommes furent de brillants scientifiques. Leur interaction fut fructueuse bien au-delà des découvertes qu'elle permit, par les leçons qu'elle nous donne, encore aujourd'hui, sur les sciences médicales et la nature humaine. ■

EN ENTERRANT SES RÉSULTATS dans son bureau, Bernard aurait-il voulu épargner son vieil ami ?

formation de l'alcool est indépendante de toute cellule. » Sans surprise, Berthelot publie ces résultats. La réaction de Pasteur est amère. Bernard était encore à ses côtés un mois plus tôt, lors d'une session de l'Académie des sciences. Pourquoi n'avait-il rien dit de son importante découverte à son ami ?

L'année suivante, Pasteur publie une série de réfutations peu étayées des travaux de Bernard, dont plusieurs tentatives infructueuses de reproduire ses résultats. Lui qui avait si longtemps vénéré publiquement Bernard, critique à présent avec âpreté ses techniques et ses interprétations, allant même jusqu'à blâmer son acuité visuelle. Lorsque, 17 ans après, en 1895, Pasteur meurt à son tour, la question n'est toujours pas résolue. Deux

LOGIQUE & CALCUL

Une théorie rêvée du calcul

Les mathématiciens créent des mondes imaginaires et s'interrogent sur ce qui s'y passe. Celui conçu par Jérôme Durand-Lose concilie simplicité et richesse infinie.

Jean-Paul DELAHAYE

De simples particules interagissant selon des règles fixées permettent-elles de réaliser des calculs et, si oui, lesquels ?

Pour le savoir, Jérôme Durand-Lose, professeur à l'Université d'Orléans, a proposé le modèle mathématique d'un univers ne contenant que des particules mobiles qu'il nomme « signaux ». Dans ce monde imaginaire, l'espace est une droite (un espace à une dimension). La droite où les signaux circulent est assimilée à la droite mathématique, c'est-à-dire à l'ensemble infini des nombres réels $\{1, -7, 23/11, \sqrt{3}, \text{etc.}\}$. Le temps est lui aussi continu et représenté à l'aide de nombres réels. Cette idéalisation n'est pas sans conséquence, mais elle est habituelle en physique où ces nombres sont utilisés en particulier dans les représentations de l'espace et du temps.

Les résultats obtenus par J. Durand-Lose et ses étudiants nous montrent les risques inhérents au passage de modèles où tout est discret – espaces composés de points isolés, temps représenté par des entiers – à des espaces continus envisagés sans restriction, avec toutes les richesses que les mathématiciens y découvrent et qui n'ont pas toutes de correspondance en physique.

Pour saisir les mondes étudiés par J. Durand-Lose depuis plus de dix ans, observons en détail l'un d'eux, qui aura la propriété de se reproduire périodiquement. Les signaux qu'il utilise sont au nombre de sept. Ce sont des points mobiles. On les dessine de cou-

leurs différentes et on les désigne par leur couleur. Chaque signal a sa propre vitesse et il n'en change jamais. Cette vitesse est un nombre réel. Dans notre exemple :

- le signal *noir* a la vitesse nulle ;
- le *bleu* et le *jaune* ont la vitesse 1 ; ils se déplacent vers la droite d'une unité de longueur par unité de temps ;
- le *vert* a la vitesse 2 ;
- le *rouge* a la vitesse -2 ; il se déplace vers la gauche de deux unités de longueur par unité de temps ;
- l'*orange* et le *violet* ont la vitesse -1 .

Les signaux interagissent quand ils se rencontrent et, après annihilation, donnent naissance à de nouveaux signaux. On peut voir ces signaux comme des particules ponctuelles. La situation est analogue à celle de la physique des particules, à la nuance près que le mathématicien conçoit et étudie en toute liberté les particules qui l'intéressent, alors que le physicien mène des expériences pour savoir quelles sont les particules existant réellement.

Dressons la liste des interactions possibles des sept types de signaux de notre exemple. Chaque ligne indique ce que la collision de deux signaux (*à gauche*) produit comme nouveaux signaux (*à droite*).

- Règle 1 : *bleu, noir* → *noir, vert*
- Règle 2 : *vert, noir* → *noir, jaune*
- Règle 3 : *jaune, noir* → *orange, noir*
- Règle 4 : *noir, orange* → *rouge, noir*
- Règle 5 : *noir, rouge* → *violet, noir*
- Règle 6 : *noir, violet* → *noir, bleu*

Quand une collision entre deux signaux n'est pas mentionnée – c'est le cas pour *jaune, orange* – les deux signaux se croisent sans interagir. Quand plus de deux signaux se rencontrent en un point, on considère que toutes les règles correspondant à deux signaux présents et interagissants s'appliquent. Par exemple, si les signaux *orange, vert* et *noir* se rencontrent, les règles 2 et 4 s'appliquent, d'où la règle :

vert, noir, orange → *noir, jaune, rouge*.

De telles super-règles peuvent être introduites si on le souhaite. L'évolution de l'univers à une dimension se visualise à l'aide d'un schéma où, par convention, l'écoulement du temps correspond au déplacement vers le haut. Le schéma *a* de l'encadré 1 montre ce qui se produit dans le cas particulier que nous venons de définir quand on place sept signaux aux positions initiales suivantes : quatre signaux *noir* en 0, 1, 3 et 4 ; un signal *bleu* en 0 ; un signal *vert* en 1 ; un signal *jaune* en 3.

Éternel recommencement

On observe qu'après une unité de temps, le signal *bleu* parti de la position 0 rencontre le signal *noir* qui est immobile en position 1. Leur collision donne naissance (d'après la règle 1) à un signal *noir* (qui prolonge donc le signal *noir* en position 1) et un signal *vert* deux fois plus rapide que le *bleu*, qui disparaît. Il y a de même interaction, à l'instant 1, entre le signal *vert* parti de la position 1 et