

Peu de moyens et beaucoup de patience

Étant donné un fromage quelconque, comment trouver et séparer les espèces vivantes qui y sont présentes ? Pour Émile Duclaux, il était évident que les ferments jouent un rôle essentiel dans la fabrication des fromages, et identifier les êtres microscopiques impliqués était une priorité. Il mit donc une méthode au point dans sa petite station laitière du Cantal, qu'il consigna ainsi dans un article paru en 1880 :

« On commence par préparer un certain nombre de matras [vases de verre à col long et étroit] renfermant le lait naturel ou mélangé d'un peu de carbonate de chaux de façon à lui assurer au besoin une alcalinité permanente. Ces matras dont le col a été étiré et fermé à la lampe sont portés avec leur contenu à 100 °C pour être débarrassés de tous les germes qu'ils pourraient renfermer.

Les choses étant ainsi disposées, on prend le fromage qu'il s'agit d'étudier et à l'aide d'un couteau dont la lame a été

récemment flambée, on enlève une tranche mince parallèle à la surface, puis aussitôt après, on fait une section perpendiculaire à cette surface. Dans le milieu de la tranche ainsi obtenue, on enfonce à l'aide d'une pince un fil de platine dont on a rendu la surface un peu rugueuse au moyen de quelques coups de lime et qu'on vient de flamber.

Ce fil enlève quand on le retire de petits fragments de matière. On l'introduit aussitôt dans un des matras dont on a coupé le cou après avoir chauffé la surface où on applique le trait

de lame. On referme immédiatement l'ouverture avec un caoutchouc sortant de l'eau bouillante que l'on coiffe avec un tube de verre ouvert par ses deux bouts, renfermant un tampon d'ouate et récemment porté à une température suffisante pour le débarrasser de tous ses germes vivants. On met le matras à l'étude et on attend.

Généralement, les quelques particules de fromage que le fil de platine a apportées dans le matras renferment plusieurs germes qui se développent mais à des vitesses différentes, dépendant pour chacune des conditions de milieu et de température. L'un d'eux est presque toujours en avance sur les autres, et dès lors, en prélevant dans ce premier milieu de culture une prise d'essai pour l'ensemencer dans un autre matras placé dans les mêmes

conditions que le premier, et en recommençant une troisième, une quatrième fois l'opération, on peut arriver à séparer l'espèce qui se développe le plus facilement.

On ne pourra toutefois la considérer comme pure que lorsqu'elle se reproduira identique à elle-même dans une série de cultures conduites comme je viens de le dire avec cette condition nouvelle qu'on prélèvera les semences non plus dans les matras récemment ensemencés mais dans des fermentations touchant à leur fin. S'il y avait mélange des espèces, c'est en opérant ainsi qu'il serait le plus facile de s'en apercevoir. »

Des matras, un couteau, un fil de platine, une pince, de l'ouate, une source de chaleur... et beaucoup de patience !

– C. M.

le ministère de l'Agriculture. De ces travaux, il tire un livre de référence qu'il complète les années suivantes.

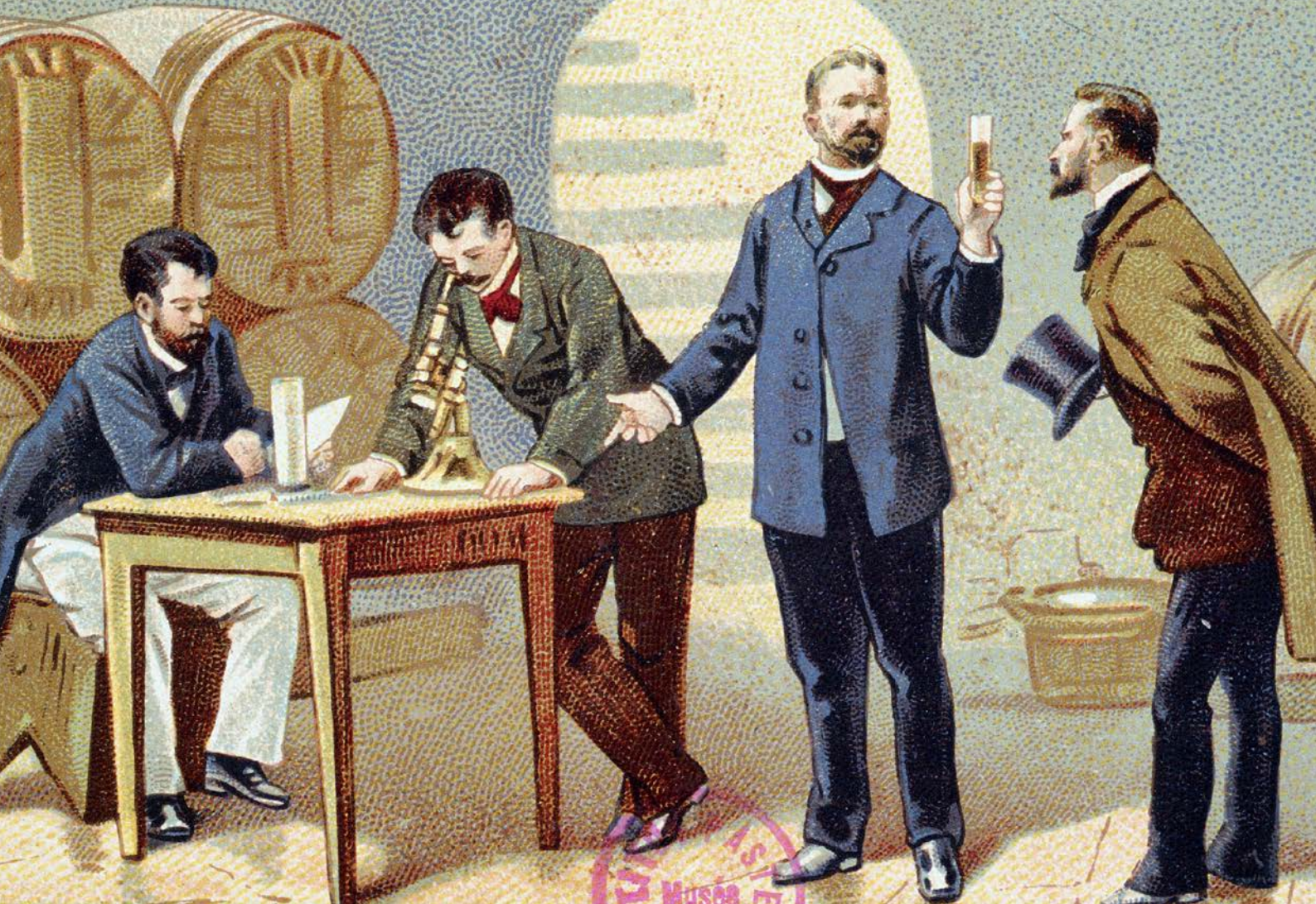
Duclaux a en effet le sens de l'écriture et de la synthèse. Durant toutes ces années 1866-1878, à Clermont-Ferrand puis à Lyon à partir de 1873, cette fois comme titulaire de la chaire de physique-chimie, il écrit et ses publications font date. Elles portent principalement sur les fermentations, les épidémies et tous ces organismes – bactéries, bactériodites, protozoaires... – dont la dénomination n'est pas fixée, mais rassemblés sous le nom de « microbes » en 1878 à la suite d'une communication du médecin militaire Charles Sédillot à l'Académie des sciences.

Le triomphe de la microbiologie

Le retour à Paris en 1878 se fait alors en deux étapes. Sur concours, Duclaux obtient la charge d'un premier cours sur la météorologie à l'Institut national agronomique. Quelques semaines plus tard, on lui confie à la faculté des sciences un cours sur les fermentations. En principe provisoire, il

lui permet pourtant d'obtenir un poste de maître de conférences en 1879 et de devenir titulaire de chaire six ans après.

Depuis son retour à Paris, Duclaux suit quotidiennement les travaux de Pasteur et de son équipe. Il participe même activement à certains, telle la recherche sur le choléra des poules. Les travaux de Pasteur et des jeunes scientifiques dont il s'est entouré ont abouti à une conclusion brève, mais au potentiel révolutionnaire : « Toute maladie infectieuse est causée par un germe et à chacune correspond un germe particulier. » Leurs premiers résultats suscitent admiration et enthousiasme, car ils permettent de protéger le bétail, que décime une épidémie de charbon : en cultivant le germe de la maladie dans des conditions atténuant sa virulence, l'équipe produit un vaccin qui éradique presque complètement la mortalité des troupeaux de bovins. Et en 1885, Pasteur sauve un enfant mordu par un chien enragé en appliquant une méthode similaire. C'est l'apothéose, entraînant une demande exponentielle de vaccination et justifiant le projet d'un institut consacré à l'application de ces recherches, auquel Pasteur pense depuis plusieurs années. D'autant que d'autres



DANS UNE CAVE À VIN à Arbois, vers 1866, Louis Pasteur (*debout au centre*), assisté d'Émile Duclaux (*assis, à gauche*), d'un autre collaborateur et d'un viticulteur, étudie le vin, convaincu que des germes sont responsables de ses altérations. Ce sont les débuts de la microbiologie, auxquels Duclaux a activement participé.

études corroborent la théorie microbienne. Le chirurgien anglais Joseph Lister évite l'infection de ses malades en prenant des précautions drastiques en matière d'asepsie et, du fond de sa Silésie, Robert Koch a identifié en 1882 le bacille de la tuberculose. La médecine traditionnelle est bouleversée.

Toutes ces années, Duclaux, comme il aime le faire, a tenu une sorte de journal des découvertes successives en les racontant dans des publications scientifiques. Mais la microbiologie prend une telle ampleur qu'il ressent la nécessité d'une revue consacrée à cette discipline. Dès 1887, il fonde et entretient, au prix d'un énorme travail, ce qui deviendra les *Annales de l'Institut Pasteur*, qu'il finance lui-même, bienveillantes à tous les chercheurs engagés sur ce terrain et largement diffusées.

Mais le grand défi est l'institut Pasteur, établi grâce à des fonds privés et inauguré en 1888. Pasteur, déjà assez malade, s'est reposé sur trois hommes : Duclaux, le pédiatre Jacques-Joseph Grancher et Émile Roux, ancien élève de Duclaux et médecin. Plusieurs lettres de Pasteur témoignent de l'autorité qu'il confère à Duclaux au

sein de cette équipe en charge des indispensables préparatifs et des urgences successives : première rédaction des statuts, mise en place de la souscription destinée à financer le projet, affichage quotidien des résultats, organisation administrative, premiers achats de terrain, construction de bâtiments, accueil de jeunes scientifiques...

L'institut ouvert, les diverses activités – recherche, vaccinations, enseignements et publications – se mettent en place. Duclaux, tout en assurant toujours ses cours, est membre de son conseil d'administration. Et si, jusqu'en 1895, il ne porte que le titre de directeur adjoint – Pasteur en étant le directeur –, il occupe une place centrale, comme le montrent les comptes rendus des conseils d'administration et les correspondances échangées. Il gère le quotidien et, en même temps, défend une vision plus large que celle d'un Pasteur réticent à des extensions d'activité. Dès 1895, après le décès du fondateur, ses efforts aboutissent à plusieurs extensions sur des terrains nouvellement achetés. En 1900 sont inaugurés un bâtiment consacré à la chimie biologique et un hôpital qui, en rapprochant malades, médecins et

chercheurs dans des conditions d'asepsie et de propreté rigoureuses, relève d'une conception très nouvelle pour l'époque.

Rien ne pouvait, pensait-il, troubler sa vie de grand travailleur, consacrée à ses nombreuses tâches et à ses deux enfants, dont il a la charge depuis le décès de sa femme en 1880... Jusqu'au jour où le séisme de l'affaire Dreyfus l'entraîne dans une société qu'il a peu fréquentée, celle des hommes de lettres, juristes, journalistes, avocats. Les six mois de janvier à juin 1898 bouleversent sa vie.

Pour une hygiène sociale

Le déclencheur est sa réponse à Scheurer-Kestner, le 8 janvier 1898. Quelques jours plus tard, le 19, avec Zola et Anatole France, Duclaux signe une pétition qui portera son nom, adressée aux milieux universitaires et scientifiques. Appelé comme témoin au procès Zola, Duclaux assiste à la condamnation de l'écrivain. Il se lance alors dans une série d'articles où il dénonce à son tour les dysfonctionnements de la justice. L'avocat de Zola l'appelle pour créer une association de défense des droits de l'homme et du citoyen. Le 6 juin 1898, ils sont dix à se réunir. Après avoir lu la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789, dans une ambiance enthousiaste, la Ligue est créée et Duclaux en est élu vice-président.

À lire tous les témoignages, la mouvance dont Duclaux fait désormais partie est animée d'une volonté de justice et d'un esprit citoyen; active, solidaire et chaleureuse, elle le conduit à renouveler son investissement dans ce qui a toujours été au centre de sa vie, le partage des savoirs. Dès les premiers jours, il rejoint le grand mouvement des universités populaires, né en 1898, participe à la vie de celle sise rue Mouffetard, à Paris, et défend la Ligue lors de séances nocturnes ouvertes au public. Plus étonnant encore, il devient directeur d'une institution, l'École des hautes études sociales fondée par Dick May, une dreyfusarde convaincue qui convie enseignants, formateurs, journalistes, artistes et toutes autres bonnes volontés à aborder librement les problèmes de la société.

En 1900, l'institut Pasteur fonctionnant au mieux, Duclaux s'intéresse aux maladies qu'il qualifie de « sociales », définies comme largement répandues et souvent de très longue durée, telles la tuberculose, la syphilis et une maladie professionnelle des mineurs. Difficiles à identifier, elles

sont aussi difficiles à juguler. Au moment où la loi sur les accidents de travail vient d'être enfin promulguée en 1898 – celle sur les maladies professionnelles ne le sera qu'en 1919 –, cette hygiène « sociale » déborde largement l'hygiène publique traditionnelle, un ensemble de règles établies pour protéger la santé de tous, dont l'État est le seul ordonnateur et le gardien. L'hygiène sociale de Duclaux s'appuie principalement sur deux idées révolutionnaires pour l'époque : d'un côté la prévention systématique des risques auxquels sont exposés un groupe social ou une population spécifique et, de l'autre, l'éducation, l'information et l'appel aux plus directement concernés, pour trouver avec eux des solutions applicables et acceptables.

Une dernière campagne, enfin : appelé par les municipalités de Paris et d'Aurillac à propos des eaux offertes à la consommation, Duclaux préconise un programme à la fois de prévention municipale, avec des investissements à la clé, et une large information des habitants. Ce sont là ses derniers travaux, sa mort survenant brutalement le 2 mai 1904.

Ne voir en Duclaux que le fidèle disciple de Pasteur est réducteur. Universitaire engagé avec ferveur dans ses tâches d'enseignant et de chercheur participant à l'exploration de la microbiologie, il a été l'un des piliers de la création de l'institut Pasteur, puis l'âme appréciée de la communauté scientifique qui s'est construite autour. Interpellé lors de l'Affaire Dreyfus, il a pris parti, comme il l'a toujours fait, pour une recherche rigoureuse de la vérité. Projeté en pleine lumière, cet intellectuel revendiquant fièrement ce statut a montré la force de la méthode scientifique et le pouvoir du savoir. Citoyen militant, il s'est investi pour l'accès à la science du plus grand nombre et a préconisé une hygiène sociale respectueuse de la parole des malades.

Duclaux, une figure du passé ? Non, bien au contraire, une figure d'actualité dans la mesure où son combat en faveur de l'hygiène sociale, qu'il place moins sur le terrain médical que sur le terrain social et politique, rejoint nos débats sur l'environnement, la pollution, la détection et la lutte contre les maladies transmissibles. Sa façon très nouvelle pour l'époque de mettre la priorité sur la prévention reste une des règles intangibles de notre temps, de même que l'information de tous et l'appel aux responsabilités de chacun. ■

■ À ÉCOUTER

Le jeudi 7 avril 2016, de 16 h à 17 h, Christine Moissinac reviendra sur la vie d'Émile Duclaux dans l'émission **La marche des sciences**, sur France Culture. www.franceculture.com

■ BIBLIOGRAPHIE

C. Moissinac, **Émile Duclaux. De Pasteur à Dreyfus**, Hermann, 2015.

Pasteur, microbes et controverses, *Les Génies de la Science*, n° 33, novembre 2007.

LOGIQUE & CALCUL

Adoucir son comportement ou le durcir

Les simulations des diverses stratégies qu'il est possible d'adopter dans le « dilemme itéré du prisonnier » indiquent que, dans les grands ensembles sociaux, il est préférable d'être coopératif, surtout au début.

Jean-Paul DELAHAYE et Philippe MATHIEU

Le « dilemme itéré du prisonnier » est un modèle mathématique permettant d'évaluer les choix stratégiques envisageables dans le monde social, politique ou économique. Il nous conseille sur l'attitude à adopter face à un éventuel associé susceptible de comportements soit coopératifs [organiser un covoiturage, mener des travaux en commun, s'échanger des outils, etc.], soit agressifs [se bousculer pour passer le premier, exercer une concurrence commerciale, se disputer un bien, etc.].

Trop simple pour modéliser toute la complexité des interactions entre associés, ce dilemme autorise cependant une étude par simulation informatique, qui enrichit notre compréhension et dont les résultats contredisent souvent l'intuition. Une conclusion tirée des simulations de grands ensembles d'individus jouant à ce jeu est qu'il vaut mieux être coopératif qu'agressif. C'est un peu vague et, d'ailleurs, ce n'est pas vrai de façon absolue : la stratégie la plus coopérative ne réussit pas très bien. Une analyse plus fine est nécessaire pour savoir quand et comment la coopération est souhaitable.

La méthode que nous avons utilisée est celle des « transformations d'ensembles massifs de stratégies ». Elle consiste à définir des procédés généraux qui modifient légèrement tous les éléments d'un grand ensemble de stratégies en les rendant plus coopératives ou plus agressives. Puis nous mesurons l'effet de ces transformations à l'aide de confrontations généralisées entre stratégies dans des arènes évolutives

variées. Les résultats obtenus sont étonnamment stables et indiquent les transformations bénéfiques ou pénalisantes.

Pour commencer, explicitons ce qu'est le dilemme du prisonnier. Deux entités sont soumises à ce « jeu » si chacune doit choisir entre coopérer (c) et trahir (t). Elles sont rétribuées par R points si chacune joue c, par P points si chacune joue t, et reçoivent respectivement T et S points si l'une joue t et l'autre c. On écrit cela : $[c, c] \rightarrow R+R$, $[t, t] \rightarrow P+P$ et $[t, c] \rightarrow T+S$. Les valeurs classiques sont $T=5$, $R=3$, $P=1$, $S=0$.

Coopérer ou trahir ?

L'expression « dilemme du prisonnier » se rapporte à un récit imaginaire. On arrête deux suspects armés devant une banque. Un interrogateur essaie d'établir qu'ils étaient sur le point de mener une attaque. Si l'un avoue, c'est-à-dire trahit son complice, et l'autre n'avoue pas et ne dénonce pas son complice, situation notée $[t, c]$, celui qui avoue est libéré (rétribution de $T=5$ années de remise de peine), celui qui n'a pas avoué va en prison 5 ans (rétribution nulle, $S=0$, il écope du maximum prévu pour le délit). Si les deux

compères restent solidaires, $[c, c]$, ils vont 2 ans en prison chacun pour port illégal d'armes (remise de $R=3$ années de liberté par rapport aux 5 ans du pire cas). Si les deux bandits avouent, $[t, t]$, ils vont chacun 4 ans en prison (remise de peine d'une année pour les remercier de leurs aveux, $P=1$).

Un comportement rationnel conduit à la trahison, qui produit un meilleur résultat que la coopération. En effet, si l'autre entité coopère, j'obtiens 5 points en trahissant (t) et seulement 3 points en coopérant (c) ; si l'autre entité trahit, j'obtiens 1 point en trahissant (t) et 0 en coopérant (c). Autrement dit, le choix t est toujours meilleur que le choix c. On parle de dilemme, car les complices emportent à eux deux 6 points en jouant $[c, c]$ alors qu'ils en gagnent moins en jouant $[c, t]$ et encore moins en jouant $[t, t]$. L'intérêt collectif est de jouer $[c, c]$, mais une analyse individuelle conduit à $[t, t]$ qui est, collectivement, le pire cas !

Le dilemme est dit itéré quand la situation du choix est répétée. Jouer consiste alors à choisir une stratégie qui, compte tenu du passé, indique comment jouer le coup suivant. La méthode la plus simple pour comparer des stratégies consiste à organiser des tournois. Chaque stratégie qui y participe rencontre chaque autre (par exemple dans un face-à-face comportant 10 étapes) et cumule les points gagnés à chaque étape lors de chaque rencontre. On classe alors les stratégies ayant participé en fonction du total des points récoltés (voir les encadrés pages 81 et 82-83).

À côté du classement des stratégies par des tournois, il existe des méthodes de tests

