



## **Assez des microbes ! Relire Latour, Mettre à jour les objets (microbiens) au cœur des savoirs contemporains**

Élise Demeulenaere, Sylvain Lallier

### **► To cite this version:**

Élise Demeulenaere, Sylvain Lallier. Assez des microbes ! Relire Latour, Mettre à jour les objets (microbiens) au cœur des savoirs contemporains. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 2024, De quelques héritages de Bruno Latour, 18 (3), <10.4000/127pv>. <hal-04739068>

**HAL Id: hal-04739068**

**<https://hal.science/hal-04739068v1>**

Submitted on 7 Jan 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

---

## Assez des microbes !

Relire Latour, Mettre à jour les objets (microbiens) au cœur des savoirs contemporains

*Enough about microbes! Rereading Latour, Updating and uncovering (microbial) objects at the focus of contemporary knowledge*

*¡Basta de microbios! Volver a leer a Latour, actualizar los objetos (microbianos) en el centro del conocimiento contemporáneo*

*Der Mikroben genug! Latour neu lesen, mikrobiologische Objekte im Fokus des zeitgenössischen Wissens aktualisieren und aufdecken*

Élise Demeulenaere et Sylvain Lallier

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rac/34413>

DOI : 10.4000/127pv

ISSN : 1760-5393

### Éditeur

Société d'Anthropologie des Connaissances

Ce document vous est fourni par INIST - Centre national de la recherche scientifique (CNRS)



### Référence électronique

Élise Demeulenaere et Sylvain Lallier, « Assez des microbes ! », *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], 18-3 | 2024, mis en ligne le 01 septembre 2024, consulté le 07 janvier 2025.

URL : <http://journals.openedition.org/rac/34413> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/127pv>

---

Ce document a été généré automatiquement le 17 octobre 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

---

# Assez des microbes !

Relire Latour, Mettre à jour les objets (microbiens) au cœur des savoirs contemporains

*Enough about microbes! Rereading Latour, Updating and uncovering (microbial) objects at the focus of contemporary knowledge*

*¡Basta de microbios! Volver a leer a Latour, actualizar los objetos (microbianos) en el centro del conocimiento contemporáneo*

*Der Mikroben genug! Latour neu lesen, mikrobiologische Objekte im Fokus des zeitgenössischen Wissens aktualisieren und aufdecken*

Élise Demeulenaere et Sylvain Lallier

---

- 1 En raison de son ouvrage largement commenté *Microbes : Guerre et Paix* (Latour, 1984), Bruno Latour est souvent cité comme une référence séminale pour les chercheurs en sciences humaines et sociales qui placent au centre de leur recherche les relations entre les humains et les « microbes ». Les recherches dans ce domaine connaissent un foisonnement important. Ce « moment microbien » déjà diagnostiqué il y a une dizaine d'années par les anthropologues Heather Paxson et Stefan Helmreich (Paxson & Helmreich, 2014), se manifeste par la revendication par certains du label « anthropologie des microbes », dans le sillage d'une publication programmatique éponyme (Benezra *et al.*, 2012), par l'apparition de centres de recherche dédiés (citons le Centre for the Social Study of Microbes dirigé par Salla Sariola, à Helsinki, Finlande), ou une discussion animée autour de l'actualité d'un « tournant microbien » (Brives & Zimmer, 2021).
- 2 L'argument de ce texte est simple. Il veut montrer que prolonger le programme d'études des sciences de Latour, quand on l'applique aux relations contemporaines entre humains et entités microbiennes, devrait conduire à renoncer à la catégorie « microbes ». Outre que le vocabulaire (en français du moins) est désuet pour les scientifiques, nombre d'auteurs qui se placent dans les études sociales des microbes, tendent à réifier les « microbes », à les prendre comme allant de soi, en négligeant les médiations pratiques et matérielles qui les rendent appréhendables par les humains. Ne pas réinterroger la catégorie « microbes », c'est aller à l'encontre des travaux de Bruno

Latour sur Pasteur qui, nourris d'une philosophie de l'émergence, se montrent toujours attentifs à la mise en forme et à l'institution de nouveaux actants non-humains.

- 3 Pour dérouler notre démonstration, nous allons d'abord revenir sur l'essor des travaux en sciences humaines et sociales consacrés aux rapports des humains aux « microbes ». Parce qu'ils sont nourris des travaux d'anthropologues, de géographes, ou de chercheurs qui se définissent par leur ancrage dans les *science and technology studies* (STS), nous adopterons la terminologie, directement inspirée du nom du centre de recherche dirigé par Salla Sariola, d'« études sociales des microbes ». Les travaux en histoire de la microbiologie tombant beaucoup moins dans les travers que nous allons pointer, nous les mettons à part de notre analyse et nous concentrons sur les dynamiques de recherche dans les disciplines précédemment listées, plus directement influencées par le programme des ethnographies multiespèces. Nous détaillerons en particulier les interprétations du « tournant microbien », et en quoi l'aborder à travers la catégorie « microbes » nous semble problématique. Nous proposerons ensuite une relecture de *Microbes : Guerre et Paix*, nourrie par notre focale et par la lecture de textes ultérieurs de Bruno Latour, dans lesquels il a explicité son programme : décrypter le travail ontologique des scientifiques, qui consiste à faire émerger, puis instaurer dans le grand monde, de nouvelles entités. Il apparaîtra que prolonger le travail de Latour, c'est délaisser la catégorie historique de microbes et s'intéresser aux objets microbiens que les microbiologistes ou praticiens contemporains façonnent. En troisième partie, nous défendrons, à partir d'exemples issus de nos propres recherches, que le programme latourien, attentif à l'historicité des objets scientifiques, nous est utile (voire indispensable) pour penser ce qui se joue dans le « tournant microbien ».
- 4 Notre texte s'inscrit dans la continuité de critiques exprimées dans d'autres textes par d'autres auteurs (Keck, 2017 ; The Kilpisjärvi Collective *et al.*, 2021 ; Brives & Zimmer, 2021), mais dont l'expression a peut-être été trop prudente, ou trop ambiguë, pour être pleinement entendue. L'originalité de notre contribution est de décrypter pourquoi les travaux de Latour sur Pasteur semble dévoyés dans les études sociales des microbes qui pourtant s'en réclament : au tournant des années 2000, les préoccupations de Latour se sont déplacées, de l'analyse de la construction des faits scientifiques vers l'élaboration de propositions relevant de l'écologie politique, conduisant à un relatif oubli par les jeunes générations du premier Latour, philosophe des sciences, et à une réinterprétation politique (et non plus épistémologique) du concept de « porte-parole ».

## Retour sur l'essor des études sociales des microbes

- 5 L'essor récent des études sociales des microbes peut être attribué à plusieurs facteurs, qui relèvent tant de tendances intellectuelles dans les sciences humaines et sociales, que de dynamiques de recherche au sein des sciences du vivant – lesquelles ont aussi à voir avec les évolutions contemporaines de la vie microbienne elle-même. Nous précisons ici que cette section n'a pas vocation à faire une présentation exhaustive des travaux en sciences humaines et sociales qui touchent à la microbiologie (l'histoire de la microbiologie au sein des humanités biomédicales a une histoire longue)<sup>1</sup>, mais se concentre principalement sur l'engouement pour les microbes dans le sillage des ethnographies multiespèces.

- 6 Quiconque mène une veille scientifique dans le champ de l'anthropologie environnementale et plus largement des humanités environnementales a pu observer le succès des « ethnographies multiespèces » (Kirksey & Helmreich, 2010). Celles-ci se définissent comme un nouveau genre d'écriture et mode de recherche orientés vers « la façon dont une multitude d'organismes vivants façonnent et sont façonnés par des forces politiques, économiques et culturelles »<sup>2</sup>. Si ces études s'ancrent dans une longue tradition de l'anthropologie, dans les *animal studies* et le courant de l'ethnobotanique et plus généralement de l'ethnobiologie, elles se penchent aujourd'hui sur « des organismes jusqu'alors sous-étudiés, tels que les insectes, les champignons ou les microbes »<sup>3</sup>, ainsi que l'affirment les auteurs de l'article de référence dans le domaine (Kirksey & Helmreich, 2010). Cet intérêt se nourrit des travaux de Latour qui ont souligné la prolifération des hybrides nature-culture, même dans les sociétés modernes dont la métaphysique est pourtant supposée se fonder sur le dualisme nature-culture (Latour, 1991). Ainsi que nous les reformulons, les thèmes privilégiés par ces nouvelles approches sont de trois ordres. Premièrement, les travaux mettent en lumière la puissance d'agir (autrement dit, l'agentivité) des vivants autres qu'humains, se positionnant de façon critique par rapport aux travaux des générations passées, trop imprégnés d'une représentation dualiste de l'action qui confère aux humains le monopole de l'action, et aux non-humains le statut d'objet passif. Le lecteur averti reconnaîtra ici un héritage de la théorie de l'acteur-réseau, qui pose que l'action humaine prend place dans des réseaux sociotechniques incluant humains et non-humains, dans lesquels l'agentivité est distribuée. Deuxièmement – et ce thème découle du précédent –, ils se penchent sur le devenir commun des hommes et des non-humains (*co-becomings*), posant que les vivants non-humains ne sont pas seulement « bons à penser » ou « bons à manger »<sup>4</sup>, mais aussi « bons à vivre avec » (*to live with*), pour reprendre le mot de Donna Haraway (Haraway, 2008). Troisièmement, soucieux d'échapper à l'anthropocentrisme de leurs aînés, ils rattachent les vivants autres qu'humains au règne du *bios*, leur reconnaissant des biographies et des vies politiques, et non plus à celui de *zoë*, la vie nue, celle qu'on peut simplement tuer – pour reprendre les catégories d'Agamben. Il découle de ces travaux des propositions morales pour une meilleure prise en compte des vies autres qu'humaines. Là le concept de « porte-parole » développé par Bruno Latour dans *Politiques de la Nature* (Latour, 1999a) est explicitement mobilisé : si les non-humains, à l'instar des subalternes, sont réputés ne pas pouvoir parler, il reste possible de prendre en compte leur voix dès lors qu'interviennent des porte-parole pour la faire entendre. On relève cependant un glissement entre la notion de porte-parole telle que forgée par Latour, initialement utilisée pour évoquer les biologistes qui ont développé une expertise scientifique sur leur objet d'étude et peuvent en dire quelque chose, et son usage dans cette littérature, dans laquelle quiconque peut s'ériger pour plaider, à un bien plus haut niveau d'abstraction, pour une éthique respectueuse des vies autres qu'humaines<sup>5</sup>. La suite de l'article fondateur des ethnographies multi-espèces présente d'ailleurs quelques performances du *Multispecies Salon*, une exposition artistique mise en place en 2008 en marge du congrès annuel de l'Association Américaine d'Anthropologie. L'effort de représentation des organismes non-humains par les anthropologues y est relayé par le travail d'une génération montante d'éco-artistes, dans un geste qui semble laisser de côté la question de la représentation scientifique chère au Bruno Latour des années 1990 et les assemblages sémiotiques et matériels qui la sous-tendent.

- 7 Aux dires même de ses principaux protagonistes (Paxson & Helmreich, 2014), la place majeure jouée par les microbes dans les ethnographies multiespèces n'est pas fortuite. L'un des théoriciens de ce courant est l'anthropologue des sciences Stefan Helmreich, qui a travaillé sur les objets et pratiques de l'océanographie contemporaine, parmi lesquelles ressort de façon saillante une attention nouvelle à la vie microbienne des océans, célébrée pour ses fonctions régulatrices de l'habitabilité de la planète Terre (Helmreich, 2009). Helmreich a construit et croisé son intérêt pour les microbes, avec Heather Paxson, anthropologue au MIT comme lui. Celle-ci a travaillé sur l'essor d'une production fromagère artisanale aux Etats-Unis, mettant en lumière les connaissances en microbiologie que les producteurs artisanaux développent pour fabriquer au lait cru dans un paysage dominé par la pasteurisation, et les « microbiopolitiques » qu'ils opposent aux régulations hygiénistes de l'US FDA (Food and Drug Administration) (Paxson, 2012, 2008). Dans un texte paru en 2008, Heather Paxson analyse l'essor des fromageries artisanales au lait cru comme associé à l'émergence d'une culture « post-pasteurienne » (Paxson, 2008). Elle pose que « les pratiques pasteuriennes configurent les microbes comme des éléments devant être éliminés de telle manière que les formes humaines de gouvernement puissent être cultivées »<sup>6</sup>. Par contraste, les pratiques post-pasteuriennes « passent par un point de passage obligé, le soin au microbe – le bon microbe, le *Lactobacillus*, ou *Penicillium*, espèces compagnes dont les corps et cultures sont coproduites avec ceux des humains »<sup>7</sup>. Pour avoir travaillé sur le monde de la production fromagère au lait cru (en France), nous nous retrouvons plutôt bien dans le propos général de cet article, mais regrettons que Paxson ait opéré pour les besoins de sa démonstration (le passage d'une culture pasteurienne – associée à la pasteurisation voire à l'hygiénisme – à une culture « post-pasteurienne ») un certain nombre de simplifications, qui vont se retrouver amplifiées chez d'autres auteurs au sein des études sociales de microbes. L'autrice occulte en effet que dans la production fromagère au lait pasteurisé, l'étape de pasteurisation est nécessairement suivie d'un réensemencement microbien pour enclencher la fermentation lactique (et que donc les agents microbiens dans la « culture pasteurienne » ne sont pas dans leur ensemble, des ennemis) ; le style d'écriture met en scène la catégorie globale de microbes (voire de « microbe » au singulier), qui ne permet pas de saisir des rapports d'alliance ou d'antagonisme avec telle ou telle catégorie microbienne ; enfin, l'autrice occulte les nombreuses médiations par lesquels « le soin aux microbes » s'opère<sup>8</sup>.
- 8 Quelques années plus tard, Paxson et Helmreich vont tisser des parallèles entre deux de leurs terrains d'investigation : les travaux en biologie évolutive développés par les microbiologistes Rachel Dutton et Benjamin Wolfe qui ont pris pour cas d'étude les écosystèmes fromagers, et les travaux dans le champ de l'astrobiologie cherchant des traces d'activité microbienne sur d'autres planètes. Le texte développe principalement que l'étude contemporaine de la vie microbienne a fait émerger le concept d'écosystème modèle (prolongeant le concept d'organismes modèles utilisé en biologie), ainsi que des conceptions ascendantes de la vie, qui « pullulerait d'opérations organiques se déployant à des échelles échappant à la perception humaine, et serait vis-à-vis des identités biologiques et des communautés humaines, animales et fongiques à la fois indépendante et étroitement imbriquée, indispensable et parfois destructrice » (Paxson & Helmreich, 2014, 2017). De cet article foisonnant, la postérité a essentiellement retenu l'idée sous-tendue dans son titre : le passage des « périls aux promesses de l'abondance microbienne », confortant l'analyse déjà développée par Paxson, selon laquelle les microbes seraient passés du statut d'« ennemis » à « alliés ».

L'idée, à la fois descriptive et normative, d'un basculement du regard sur les microbes (de négatif à positif) restera associée à l'expression « tournant microbien » (quand bien même on n'en trouve qu'une seule occurrence dans le texte, et qu'elle apparaît sous théorisée<sup>9</sup>). Celle-ci va connaître un rapide succès académique (voir Brives & Zimmer, 2021) et ouvrir la voie à nombre de textes célébrant les vertus du compagnonnage avec des microbes<sup>10</sup>.

- 9 Il existe depuis longtemps des travaux en anthropologie consacrés aux fermentations, que ce soit dans les études rurales ou en anthropologie de l'alimentation (*rural studies*, *food studies*). Cependant, l'essor des ethnographies multispèces en a radicalement influencé le style d'écriture ; sans compter que le « tournant microbien » et la morale probiotique qu'il sous-tend<sup>11</sup>, ont suscité de nouvelles vocations chez des chercheurs venant des *science studies*. Les pratiques de fermentation autrefois principalement étudiées sous l'angle de l'anthropologie des techniques, de la technologie culturelle (voir les travaux de Françoise Sabban ou de Sandrine Ruhlmann) ou de l'anthropologie symbolique (Fournier & D'Onofrio, 1995) mettent désormais communément en scène l'agentivité des microbes, ou tout au moins, la co-agentivité des assemblages humains-microbes, comme en témoignent plusieurs publications collectives récentes (Flachs & Orkin, 2019 ; Hendy *et al.*, 2021). Les ethnographies dédiées à des pratiques paysannes accordent plus d'attention que par le passé aux soins accordés aux levures ou aux bactéries, ou aux devenirs communs humains-microbes (The Kilpisjärvi Collective *et al.*, 2021).
- 10 D'autres facteurs jouent dans le développement des études sociales des microbes. Dans le domaine des sciences du vivant, se développent depuis une vingtaine d'années, des méthodes d'investigation moléculaires, telles la métagénomique, qui promettent – par contraste avec les méthodes dites « pasteuriennes », ou « approche par culture » fondées sur la mise en culture en boîte de Pétri – la possibilité d'une « photographie »<sup>12</sup> des microorganismes présents dans un écosystème donné. Cette évolution dans les méthodes d'étude de la vie microbienne est présentée comme une révolution majeure, car elle permet d'appréhender enfin les microorganismes de façon exhaustive, sans exclure ceux qui n'étaient jusqu'alors pas cultivables<sup>13</sup>. En outre, la métagénomique promet de saisir la vie microbienne dans son environnement, ce qui conduit à en révéler des propriétés nouvelles (complexité, ubiquité), ainsi que le vulgarise très bien le biologiste Marc-André Selosse dans son best-seller *Jamais seuls* (Selosse, 2017). Ces transformations suscitent l'intérêt des spécialistes des sciences, qui visent à documenter et analyser des déplacements ontologiques que ces développements scientifiques opèrent – sur les sols (Granjou & Phillips, 2019), sur la santé et la nature humaine même (Keck, 2017 ; Raffaetà, 2022)... sans compter les questions éthiques qu'ouvrent les recherches liées au microbiome humain (Greenhough *et al.*, 2020).
- 11 Parallèlement on observe des évolutions dans la vie microbienne elle-même, comme l'apparition de résistances aux antibiotiques ou, à des échelles plus locales, l'appauvrissement délétère de microflore dans des environnements où elles sont pourtant désirées. Il en découle de multiples conséquences, abordées conjointement par les sciences de la vie et les sciences humaines et sociales : augmentation des maladies nosocomiales (Haraoui *et al.*, 2024), émergence de « pathologies de la modernité » (dermatites atopiques ou eczéma, asthmes, allergies) liées à un défaut d'exposition à des environnements microbiens riches (Blaser, 2014 ; Vuitton *et al.*, 2019), échec des thérapies antibiotiques et montée conjointe d'un nouveau problème



public, l'antibiorésistance (Kirchhelle, 2023), risque d'appauvrissement de patrimoines alimentaires (Nabhan, 2010) ou d'environnements microbiens dont les multiples fonctions restent à explorer, qui éveille l'urgence de conserver et cataloguer une biodiversité menacée (Hawksworth & Colwell, 1992 ; Tancoigne, 2021 ; Zimmer, 2019). Sociologues, anthropologues et géographes explorent les alternatives, tant à un agir moderne hygiéniste qu'à un recours systématique aux antibiotiques, et les obstacles auxquelles elles se heurtent. Citons parmi d'autres, le développement de thérapies fondées sur l'utilisation de virus bactériophages (littéralement « mangeurs de bactéries ») en alternative au recours aux antibiotiques, mais qui supposent de revoir entièrement les infrastructures de recherche et développement dans la santé humaine (Brives, 2022), le développement d'une médecine préventive dans l'élevage industriel empêché par un modèle économique fragile (Fortané, 2021), la promotion de savoirs d'« écologie microbienne dirigée » pour le développement de pratiques d'hygiène raisonnée dans la production fromagère au lait cru (Demeulenaere & Lagrola, 2021)... Enfin, la persistance d'épidémies, et le surgissement récent d'une pandémie mondiale a redonné une actualité aux travaux sur les biopolitiques des virus et autres agents pathogènes (Fortané, 2015 ; Keck, 2020 ; Alves Duarte Da Silva *et al.*, 2023).

## Vision dualiste, généalogie fantasmée, essentialisation des microbes : quelques écueils de cette littérature

- 12 L'ensemble de ces facteurs (ethnographies multi-espèces et leur focale sur les microbes, promesses de la métagénomique, émergence de problèmes liés aux dynamiques microbiennes récentes) ont contribué au succès du grand récit – à la fois descriptif et normatif – du tournant microbien. Celui-ci opère une séduction certaine, des arènes militantes au monde académique ou artistique, où se multiplient les appels à reconnaître le rôle positif des microbes<sup>14</sup>. Sans généraliser notre critique à l'ensemble des travaux précédemment mentionnés, nous observons cependant au sein de cette littérature un certain nombre d'écueils et de simplifications qui empêchent, à notre avis, de penser ce qui se joue dans le déplacement contemporain des rapports aux microorganismes, et que la relecture attentive de Latour permettrait de lever. L'usage récurrent du terme « microbes » à l'exclusion de tout autre terme, en est un marqueur symptomatique.
- 13 Nous illustrerons certains de ces écueils par un article de Salla Sariola, publié dans la revue *Current Anthropology* (Sariola, 2021) intitulé « Fermentation in Post-Antibiotic Worlds »<sup>15</sup>. L'autrice se penche sur les pratiques et imaginaires d'un collectif revitalisant la boulangerie au levain en Finlande, à travers l'observation participante d'un atelier pratique autour de la fermentation. L'argument reproduit et amplifie la généalogie, selon laquelle les microbes ont été vus, depuis leur découverte au XVIII<sup>e</sup> siècle, comme des agents pathogènes, face auxquels les traitements antibiotiques ont apporté une solution miracle<sup>16</sup>. Ceci jusqu'à l'avènement de la métagénomique, qui a mis en évidence l'ubiquité des microbes<sup>17</sup>. Aujourd'hui, différents collectifs explorent des voies alternatives pour cultiver des relations de compagnonnage entre humains et microbes<sup>18</sup>, ce qu'illustrent ces boulangers au levain, conceptualisés comme des *microbiohackers* concepteurs de futurs post-antibiotiques. Une telle généalogie nous apparaît comme relevant d'une construction rhétorique, d'une part parce que les débuts de la microbiologie se placent dès le départ sur le mode d'un rapport



d'ambivalence aux microorganismes – une partie du travail de Pasteur a d'ailleurs été consacrée à la mise en évidence du rôle des « levures » dans la fermentation alcoolique et lactique, ainsi que l'a étudié Bruno Latour (Latour, 2001a)<sup>19</sup> ; d'autre part parce que les pratiques contemporaines de fermentation, redécouvertes avec enthousiasme par des activistes urbains, sont en continuité directe avec des pratiques très anciennes, ainsi que le rappelle dans le même numéro de *Current Anthropology*, Matthäus Rest, anthropologue de la fermentation travaillant en collaboration avec des archéologues (Rest, 2021).

- 14 Un autre écueil de cette littérature touche à l'essentialisation – *substantification* dirait plutôt Latour (Latour, 2001a) – des microbes, autrement dit, la tendance à prendre les microbes comme allant de soi, et à leur attribuer des propriétés sans les questionner. Ce point est déjà relevé dans l'article de Heather Paxson et Stefan Helmreich, qui entre autres lignes argumentatives, propose un examen critique des nouveaux matérialismes (associé à des autrices comme Jane Bennett et son vitalisme de la matière, ou Karen Barad et son concept de réalisme agential). Selon les auteurs, ce nouveau matérialisme serait dangereux pour sa « tendance à universaliser des énoncés métaphysiques sur la nature de la 'matière', et aussi parfois à prendre pour argent comptant les idées formulées par la science comme des vérités – évolution que [les auteurs] consid[èrent] comme une régression pour les STS ». L'adoption d'un tel cadre aurait conduit Myra Hird, autrice de l'ethnographie d'un laboratoire de microbiologie, à « traiter les microbes comme *une classe naturelle forcément pérenne* ». Or, rappellent Paxson et Helmreich, en s'appuyant sur la recension de l'ouvrage de Hird par la philosophe de la microbiologie Maureen O'Malley :

En n'abordant pas la manière dont la science est faite, ainsi que le caractère perpétuellement révisable et contestable des résultats obtenus en microbiologie, [Hird] nous laisse l'impression qu'il existe une source de connaissance incontestable et universellement acceptée, à laquelle nous pouvons tous boire (O'Malley, 2011, p. 129)<sup>20</sup>.

- 15 Que la critique des nouveaux matérialismes de Paxson et Helmreich soit justifiée ou non, nous partageons leur préoccupation devant le traitement des microbes comme classe naturelle. Celui-ci a deux conséquences. Il conduit d'abord à un oubli des médiations pratiques et épistémologiques qui leur donnent forme, et c'est vrai pour les études de laboratoire, comme pointé à l'instant, comme pour les études de fermentation<sup>21</sup>. Ensuite, chez certains auteurs, essentialiser les microbes conduit assez naturellement à les poser en sujets politiques. En guise d'exemple un peu caricatural, on peut citer un intervenant dans un panel consacré aux microbes lors de la conférence 2024 de la 4S (Society for the Social Studies of Sciences), qui interpellait l'auditoire avec une question « décoloniale » (ainsi qu'il la labellisait) : « comment demander aux microbes s'ils veulent coopérer pour être engagés dans une relationalité avec nous ? ». La substantification des microbes conduit les chercheurs à s'en faire le porte-parole au sens politique du terme, en négligeant les opérations pratiques et épistémologiques qui leur donnent forme. C'est le deuxième Latour qui est convoqué ici : non pas le philosophe des sciences de *Microbes : guerre et paix*, qui a développé une approche politique de la science, mais plutôt le théoricien de l'écologie politique postérieur aux *Politiques de la nature*, inventeur d'une théorie compositionniste du politique, autrement dit, une cosmopolitique (Seguin & Lord, 2023).
- 16 On peut enfin s'interroger sur la cohérence d'un argument qui en appelle à plus de discernement vis-à-vis des microorganismes, en écho aux microbiologistes qui

distinguent différentes classes de microorganismes selon des logiques taxonomiques, phylogénétiques, métaboliques, biomédicales, ou en fonction de catégories d'usage dans une logique explicitement anthropocentrée (levures, bactéries, virus... eubactéries, archaea... bactéries lactiques, butyriques... *Listeria monocytogenes*, souche d'*Escherichia coli* productrice de shigatoxine, H5N1, H1N1... agents pathogènes vs. microorganismes d'intérêt...), tout en ramenant en permanence le discours à la catégorie englobante de « microbes ».

- 17 Une dernière réserve concerne plus spécifiquement la littérature francophone. Dans le français contemporain, le terme *microbe* renvoie à un vocabulaire enfantin utilisé pour enseigner les principes basiques d'hygiène aux enfants. Le terme générique en microbiologie est « microorganismes » et le plus souvent, des termes plus spécifiques sont privilégiés (virus, bactérie lactique, levure...). Les quelques occurrences que nous avons pu observer (en dehors du traitement médiatique), sont chez des défenseurs de la production fromagère au lait cru, – dans un cas, un producteur fromager fermier qui a de nombreuses responsabilités professionnelles et se présente volontiers comme « éleveur de microbes » ; dans l'autre, un activiste du fromage au lait cru aux Etats-Unis qui arbore au salon biennal Slow Cheese de Bra (Italie), un T-shirt affichant « *Beneficial Microbes* » –, ou dans quelques ouvrages grand public (Ducluzeau & Raibaud, 1979 ; Selosse, 2017) : dans tous ces cas, nous décelons une forme de communication sur le registre de la provocation, exploitant et renversant le stigmatisme négatif associé au terme « microbes ». Les historiens de la microbiologie et de la langue française nous éclairent sur la création du terme et sa sémantique historique. Le 11 mars 1878, lors de la séance hebdomadaire de l'Académie des Sciences, le médecin militaire Charles-Emmanuel Sédillot propose le mot *microbe* (étymologiquement, « petite vie ») pour désigner les agents visibles au microscope qui peuvent être cultivés. Il veut faire cesser « les discussions interminables entre les partisans des microzoaires et des microphytes », termes qui préjugent de la nature animale ou végétale des « infiniment petits »<sup>22</sup>. Pasteur qui parlait alors plutôt de « parasites microscopiques », se range rapidement à cette terminologie. Le terme rencontre rapidement le succès, à tel point qu'Émile Duclaux, disciple de Pasteur, qui avait publié en 1882 *Ferments et Maladies*, renomme la nouvelle version écourtée en 1886, *Le microbe et la maladie* (Raichvarg, 1995). Dans les années qui suivent, les découvertes des agents responsables de maladies s'allongent, « si bien que le terme *microbe* est surtout employé au XIX<sup>e</sup> siècle par les médecins qui le considèrent uniquement comme un agent pathogène, d'où sa connotation négative » mentionne l'historien de la langue française Alain Rey. « Celui moins connoté de *micro-organisme*, forgé en 1876 par Henri de Parville, rédacteur scientifique au *Journal officiel* se substitue très progressivement à *microbe* au XX<sup>e</sup> siècle » (de Parville, 1876 cité dans Rey, 2011). Au regard de cette histoire, pourquoi mettre au centre des études contemporaines de la microbiologie et des interactions humains-vie microbienne, un terme négativement connoté, et désuet pour les scientifiques ? Postulons plusieurs logiques, qui ne sont pas incompatibles les unes avec les autres : une logique rhétorique, qui exploite la figure de style du paradoxe pour mieux souligner le renversement contemporain de regard sur les micro-organismes<sup>23</sup> ; des logiques académiques, qui consistent à s'indexer sur une dynamique de recherche internationale mettant en scène les *microbes*, reprenant l'un des deux termes utilisés par les microbiologistes anglophones – *microbes* ou *microorganisms* (mais sans réflexion critique sur ce que cette traduction littérale produit)... ou sur le *Microbes : guerre et paix* de Bruno Latour (auquel cas, le legs de Latour mérite d'être examiné).

## Relire *Microbes : guerre et paix*, et quelques textes afférents éclairant la philosophie des sciences de Latour

- 18 Dans *Microbes : guerre et paix*, Bruno Latour se déplace par rapport à la démarche de microsociologie des sciences qu'il avait menée pour *La Vie de Laboratoire*, et propose un ouvrage au croisement entre histoire et philosophie des sciences pour réfléchir aux liens entre science et politique. Pour ce faire, il lui faut se pencher sur une « révolution scientifique radicale et incontestable qui aurait transformé profondément la société et qui lui devrait peu de choses ». Il choisit pour cela « la révolution introduite en médecine, en biologie et en hygiène par les travaux de Louis Pasteur » (Latour, 1984, p. 15). À travers les travaux empiriques de Pasteur et sa « découverte-invention-construction » (Latour, 1999b, p. 153) de nouveaux agents microbiens, Latour décrypte le travail ontologique réalisé par la science, c'est-à-dire la production en laboratoire de nouveaux non-humains. Dans un deuxième temps, Latour éclaire l'impact politique des travaux de Pasteur (sur le rôle des micro-organismes dans la fermentation, la contamination, la contagion), et notamment l'appui qu'ils offrent au mouvement social déjà vieux d'un siècle, des hygiénistes, « qui prétend s'insinuer partout pour agir sur toutes les causes de la mauvaise santé ». Ici Latour met en lumière « la capacité de la science à concevoir et mettre en œuvre de nouvelles politiques concernant les nouveaux êtres qu'elle produit » (Seguin & Lord, 2023). Sur ces deux bases, l'ouvrage pose pour la première fois l'énoncé resté associé à Latour, selon lequel la science est une façon de faire de la politique par d'autres moyens (*Science is Politics By Other Means*).
- 19 Au-delà du cas de Pasteur, Latour entendait proposer une méthode de travail pour les chercheurs en *science studies*, permettant de dépasser les termes du débat de l'époque : l'évolution des théories scientifiques résulte-t-elle principalement de rapports sociaux (autrement dit, de rapports de force), ou de rapports de raison ? En d'autres termes, la science est-elle principalement pilotée par la nature ou par la société ? Pour sortir du champ de bataille de la « guerre des sciences », il entendait montrer les efforts des scientifiques pour « faire émerger à travers une série d'épreuves, les personnages insolites qui composent le collectif », celui-ci comprenant, selon l'acception latourienne tant des agents humains et non-humains (Latour, 2015, p. 112). Comme Latour l'énonçait dans l'une des conférences du cycle *Face à Gaïa* :
- à la liste des puissances d'agir [Pasteur] avait ajouté un élément, le microbe, qui allait jouer un rôle capital dans le réarrangement de tous les modes de vie. Le cas de Pasteur prouve, une fois encore que la science ne procède pas par la simple expansion d'une 'vision scientifique du monde' déjà existante, mais par la révision de la liste des objets qui peuplent le monde, ce qui est normalement appelé par les philosophes, avec raison, une métaphysique et par les anthropologues, une cosmologie (Latour, 2015, p. 121).
- 20 *Microbes : guerre et paix* est donc avant tout méthodologique. Il est d'ailleurs significatif que la précédente citation soit extraite du texte dans lequel Latour entend appliquer à James Lovelock auteur de l'hypothèse « Gaïa » la même méthode que celle qu'il a appliquée à Pasteur : il s'agit d'y montrer comment le penseur britannique s'est efforcé de réviser les ontologies scientifiques pour faire entrer une nouvelle entité, Gaïa.

- 21 La lecture de la préface à la seconde édition de *Microbes*, renommé *Pasteur : guerre et paix des microbes*, conforte cette lecture. Sans doute en réponse aux historiens qui ont critiqué à sa sortie *Microbes, Guerre et Paix* pour son manque de précision historique, Bruno Latour y martèle l'intention de son ouvrage, qu'il ne voulait pas historique mais avant tout méthodologique. Latour ajoute qu'il regrette ne pas avoir prêté suffisamment attention à « l'historicité des objets savants » (Latour, 2011). La remarque n'est pas développée, et c'est dans d'autres textes, notamment un article publié en 1996 dans *Common Knowledge*, puis dans une contribution à l'ouvrage coordonné par Lorraine Daston, *Biography of scientific objects* (Daston, 2000), que l'on trouve la clé de ses regrets. Le texte de 1996 pose explicitement la question de l'historicité des objets scientifiques, et la traite à partir de la découverte de la fermentation lactique par Pasteur, et en s'appuyant sur la philosophie de Whitehead et son réalisme historique (Latour, 1996). L'ouvrage collectif coordonné par l'historienne des sciences s'inscrit dans l'effort des *science studies* de l'époque, pour tracer une ligne de crête entre « constructivisme social » et « réalisme ». En suivant la vie et la mort (*the coming into being and passing away*) des objets scientifiques, il s'agit de montrer qu'ils ne sont ni inventés, ni découverts<sup>24</sup>, mais dans un entre-deux, à la fois réels et historiques. Quatre mécanismes sont susceptibles de donner vie à un objet scientifique : il peut être le produit d'un contexte donné, où il devient soudain saillant, ou *productif* ; il peut *émerger* de pratiques de science, et dans lesquelles il se trouve *enchâssé* dans des réseaux locaux, matériels et pratiques. *Salience / Emergence / Productivity / Embeddedness* sont les quatre grands thèmes qui structurent l'ouvrage, et le texte de Latour sur « l'existence partielle des objets existants et non existants », resté célèbre pour sa provocation d'ouverture (comment Ramsès II a-t-il pu mourir de tuberculose alors que le bacille de la tuberculose n'avait pas encore été découvert ?), illustre le dernier thème (Latour, 2000).
- 22 Ces deux textes ont été profondément retravaillés pour l'essai sur les études des sciences *Pandora's Hope* et c'est plutôt sur ces nouvelles versions, et leur traduction-adaptation deux ans plus tard en français, que nous nous appuyons (Latour, 2001a, 2001b, 1999c, 1999b).
- 23 Dans le chapitre 4 de *Pandora's Hope*, « From Fabrication to Reality. Pasteur and His Lactic Acid Ferment »<sup>25</sup>, Bruno Latour s'attaque frontalement à la question qui taraude alors les études sociales de sciences, qui essaient de tracer un chemin entre « le réalisme naïf dont vingt-cinq années d'anthropologie des sciences après deux siècles de rationalisme ont tenté de nous faire sortir » et le « constructivisme social<sup>26</sup> qui méconnaît le rôle des non-humains, alors que ceux-ci se trouvent au centre de l'attention de toutes les personnes que nous étudions » (Latour, 1999c, p. 137). Pour ce faire, Latour va s'attacher à suivre le travail de production de preuves réalisé par Pasteur pour démontrer l'origine microbienne de la fermentation lactique. Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les phénomènes de fermentation étaient compris comme le résultat de dégradations de substances inertes, suivant la théorie chimique de Liebig. Louis Pasteur s'opposera à cette interprétation et tâchera de montrer que la fermentation est le résultat de l'activité fermentaire de micro-organismes producteurs d'acide lactique. L'analyse du *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* rédigé par Pasteur sert de support à l'analyse. Dans sa démonstration, Pasteur (tel que lu par Latour) s'attelle dans un premier temps à décrire ce que le « ferment » lactique *fait* : il lui attache une série de performances<sup>27</sup>, bien avant de lui attacher une « compétence » puis une « substance ». Pour cela, Pasteur va développer une série d'épreuves pour montrer de quoi cet agent

est capable. Dans son commentaire du texte, Latour insiste à la fois sur « le caractère artificiel du dispositif de laboratoire et sur l'autonomie de l'entité qui a été 'fabriquée' dans les murs du laboratoire » (Latour, 1999c, p. 132). « Toute expérience engendre deux plans : un premier où l'expérimentateur est actif et un second où l'action est déléguée à un autre personnage, non humain celui-là ». S'ensuit une discussion critique des métaphores les plus usitées pour évoquer ce « débrayage » de l'action (le passage de l'agentivité du scientifique à l'agentivité du non-humain étudié) : métaphore théâtrale (le savant comme metteur en scène de l'agent étudié – métaphore qui suggère qu'il y a toujours deux plans de référence simultanés) ; métaphore optique (le savant comme observateur équipé de « lunettes » appropriées pour observer son objet) ; métaphore industrielle (l'agent étudié comme un *artefact* qui subit une chaîne de transformations, et qui à cet égard est à la fois *fait* et *réel*)... Arrêtons-nous un temps sur la métaphore optique, car elle est souvent utilisée pour parler des façons de connaître les microorganismes, ensemble hétérogène d'êtres vivants qui ont pour principale caractéristique commune d'être « invisibles à l'œil nu »<sup>28</sup>. Latour pointe qu'elle a l'avantage de souligner l'indépendance et l'autonomie de la chose regardée, mais saisit mal l'activité de celui qui regarde. Or le microbiologiste ne se contente pas de « voir », de façon plus ou moins équipée ; il met aussi en place des dispositifs ad hoc pour produire des traces de la présence ou de l'activité des microorganismes qu'il étudie. « La métaphore optique peut rendre compte du visible mais pas de la 'fabrication' du visible » (Latour, 1999c, p. 144). « Vision du monde », « représentation »..., le vocabulaire afférent à cette métaphore suggère en outre que l'observateur déforme nécessairement la réalité, et que les médiations scientifiques ne peuvent être que négatives par rapport à un accès direct au monde. Latour propose pour conclure une interprétation moins évidente au sens commun, mais plus juste : le travail scientifique repose sur l'*articulation* d'une série de *propositions* faites par l'ensemble des actants mis en présence dans le laboratoire – le terme *proposition* étant pris dans le sens ontologique élaboré par Whitehead, comme « ce qu'un acteur offre à d'autres acteurs »<sup>29</sup>. Ce renouvellement du vocabulaire permet d'échapper aux apories sur lesquelles on bute dès lors que l'on pense la science en termes d'oppositions entre ontologie et épistémologie, monde réel et langage, objet et sujet, culture et nature... et de penser tant la co-agentivité des humains et des non-humains, que le caractère profondément situé (dans le temps, dans l'espace) de ce qui en résulte. Ainsi présentées, les catégories microbiennes ne peuvent pas être autre chose que des « onto-épistémologies », c'est-à-dire des entités bien réelles qui existent à travers les traces qu'elles produisent dans des dispositifs de connaissance dont les scientifiques se dotent pour les saisir.

- 24 Dans le chapitre 5, « *The Historicity of Things. Where were microbes before Pasteur made them up?* »<sup>30</sup>, Bruno Latour refuse de donner une réponse univoque à la question, en défendant soit l'option *réaliste* (bien évidemment, les ferments existaient avant que Pasteur ne s'y intéresse !), soit l'option *constructiviste* (oui, Pasteur a *inventé ex nihilo* les ferments). Il avance plutôt que Pasteur a « donné forme » aux ferments<sup>31</sup>, à travers un dispositif expérimental contingent, composé d'un environnement et une culture matérielle toujours singuliers (flacon à col de cygne, pour empêcher la contamination par des « germes aériens » dans sa réfutation de la théorie de la génération spontanée de Pouchet ; bouillons de culture ; milieux de culture ; boîtes de Pétri...). Le contexte pèse d'un tel poids qu'

un ferment lactique croissant dans un bouillon de culture du laboratoire lillois de Pasteur en 1858 n'est pas la *même* chose que le résidu d'une fermentation alcoolique mis en évidence dans la laboratoire munichois de Liebig en 1852. ... Pasteur n'est pas Liebig, Lille n'est pas Munich. L'année 1852 n'est pas l'année 1858. Être le résultat de l'ensemencement d'un bouillon de culture n'est pas la même chose que d'être le résidu d'un processus chimique (Latour, 1999b, pp 156-157).

- 25 Latour s'appuie alors sur le chapitre précédent pour avancer qu'il y a une existence relative des objets (Latour, 1999b, p. 156). Ils ne sont pas caractérisés de façon éternelle par une essence, mais de façon temporaire, par une enveloppe spatiotemporelle de *propositions*. Ce n'est qu'à posteriori que les propositions sont transformées en substance ; s'ensuivent alors des opérations d'*institution* de la substance, ou, pour prendre un vocabulaire qu'il privilégiera plus tard, inspiré par le philosophe Etienne Souriau, d'*instauration* (Stengers & Latour, 2009).
- 26 De ces deux textes, ressortent quelques idées phares de la philosophie des sciences de Bruno Latour : l'enchâssement (*embeddedness*) des objets (techno)scientifiques dans des réseaux sociotechniques toujours singuliers ; l'historicité des objets scientifiques, qui non seulement émergent de pratiques scientifiques contingentes, mais peuvent aussi tomber en désuétude, ou se transformer du fait de l'adjonction de nouvelles performances ; l'existence de processus d'institution des objets scientifiques qui tendent à les naturaliser, à les transformer en essence, et les rendent performatifs lorsqu'ils entrent dans le grand monde.

## En quoi Latour nous aide à comprendre le « tournant microbien » ?

- 27 Dans la partie qui vient, nous allons exposer, à travers deux cas, en quoi ces acquis des *science studies*, qui semblent avoir été oubliés dans une littérature plus récente qui pourtant s'en réclame, nous sont utiles pour comprendre certaines transformations récentes des relations aux microorganismes.

### De l'approche souche par souche à l'étude des flux microbiens : des déplacements ontoépistémologiques opérés par l'écologie microbienne dans la production fromagère au lait cru

- 28 Le premier cas vient d'une enquête visant à comprendre les transformations en cours dans le monde du fromage au lait cru, en France, et les changements afférents dans les relations à la vie microbienne<sup>32</sup>. Dès le début de cette enquête, nous (Élise Demeulenaere) avons été amenée à fréquenter régulièrement des chercheurs spécialisés en écologie microbienne promouvant « plus de discernement vis-à-vis des microorganismes »<sup>33</sup>. En 2019, nous avons rejoint le Réseau Mixte Technologique (RMT) « Filières fromagères valorisant leur terroir » où certains d'entre eux sont très actifs<sup>34</sup>. Nous avons alors réalisé que leur conception de la vie microbienne résultait d'un engagement de plus de vingt ans auprès de filières fromagères AOP particulièrement attentives à conserver leur lien avec cet objet étrange qu'est « le terroir ». La consultation des archives d'instituts techniques et de groupes de travail où ces recherches ont été menées a permis de mettre en lumière les déplacements



scientifiques introduits par ces chercheurs et professionnels de l'accompagnement technique des filières fromagères.

- 29 La production fromagère a été radicalement transformée par les politiques de modernisation agricole durant tout le XX<sup>e</sup> siècle, comme le racontent les travaux de géographie historique sur le fromage, et les travaux d'histoire de l'INRA (Delfosse, 2007 ; Cornu *et al.*, 2018). La focale mise sur l'éradication de problèmes sanitaires (tels la tuberculose au début du siècle), et sur l'obtention de produits de qualité régulière, a conduit à l'établissement de politiques visant à réduire le nombre de germes/ml de lait cru (Terroine *et al.*, 1956 ; Richard & Daufin, 1973 cité dans Demeulenaere & Lagrola, 2021). Dans les années 1980, les filières de montagne s'inquiètent de la baisse de fromageabilité de leurs laits (il n'y a plus assez de bactéries lactiques dans le lait cru pour que s'enclenche une fermentation lactique spontanée), et de la perte de typicité de leur produit liée aux solutions techniques adoptées par les producteurs pour y pallier (usage de yaourts, ou de ferments commerciaux)<sup>35</sup>. Certaines filières se lancent dans la sélection de souches dites « autochtones », à partir d'échantillons prélevés dans les ateliers situés dans les territoires de production de l'AOC (Tancoigne, 2021), pour remplacer les souches commerciales génériques, accusées d'être insuffisamment typiques du fromage produit. Au sein de l'antenne savoyarde de l'Institut Technique du Gruyère on commence à prendre acte de l'érosion inéluctable des microflore des laits crus, et on évoque même l'idée de « [reconstruire] des écosystèmes microbiens » à partir d'associations de souches microbiennes, en y incluant non pas seulement les bactéries lactiques indispensables à l'acidification en début de fabrication, mais aussi les microorganismes actifs dans l'affinage. Cette option n'est pas celle envisagée par la filière Comté, qui, alors que la France est engagée dans un bras de fer avec les Etats-Unis pour défendre la place des fromages au lait cru dans le commerce international, poursuit une recherche d'excellence de ses produits basée sur la naturalité et l'expression du terroir (Demeulenaere, à paraître). Au début des années 2000, la filière impulse la constitution d'un groupe de travail, composé de microbiologistes et techniciens fromagers issus d'instituts techniques et laboratoires collaborant avec des filières fromagères au lait cru, pour comprendre où se trouvent les « réservoirs microbiens » à l'origine de « l'ensemencement spontané »<sup>36</sup> des laits, qui permettent d'obtenir de laits riches en « microflore native ». Il s'agit d'explorer la « voie microbienne du terroir », en privilégiant un changement d'échelle, de l'approche « souche par souche » à l'approche « par communautés microbiennes ».
- 30 Il convient de s'arrêter ici sur ce qu'est une souche. Une souche est produite par une série de transformations : elle suppose un prélèvement dans un environnement microbien, la réalisation d'un bouillon de culture, des séries de dilution, la mise en culture en boîte de Pétri (avec le choix de milieux de culture et de températures, qui vont favoriser la croissance de telle ou telle espèce microbienne), la remise en bouillon de culture de certaines « Unités Formant Colonie » (UFC) – concrètement, il s'agit des tâches formées sur le milieu de culture de la boîte de Pétri par la multiplication clonale d'une unité microbienne – pour en tester ensuite les propriétés (par exemple, résistance aux phages, propriétés métaboliques...). Mais la série ne s'arrête pas là : pour les spécialistes, une souche est plus qu'une UFC. C'est une UFC à laquelle on a attribué une identification à l'échelle de l'espèce, et dont on a testé la viabilité. Poser que les souches sont des artefacts de laboratoire relève de l'évidence pour les microbiologistes et techniciens de laboratoire qui font l'expérience quotidienne du travail technique



soigneux pour les produire (préparation de milieux de culture adaptés, évitement des contaminations...). Dire cela n'est pas incompatible avec l'idée que certaines de ces souches, celles jugées les plus intéressantes sur un certain nombre de critère (vitesse d'acidification, production de métabolites recherchés), sont sorties depuis longtemps des laboratoires, et sont désormais accessibles sous forme lyophilisée, via les catalogues commerciaux de grands producteurs de ferments (Danisco, Chr. Hansen), et que ce commerce a eu des effets très concrets sur les industries de la fermentation (Lee, 2018, 2021 ; Tancoigne, 2021).

- 31 L'approche par « communautés microbiennes » développée par le groupe « flore des laits » ne cherche pas la production de souches en laboratoire pour les diffuser dans l'industrie, mais vise à comprendre les flux microbiens qui se produisent dans les systèmes de production. L'ultime étape de ces recherches est de s'allier avec des techniciens d'élevage au contact régulier avec les éleveurs, pour promouvoir des pratiques permettant l'entretien d'ambiances microbiennes riches sur la ferme et favorisant les flux microbiens jusqu'au lait, sans omettre pour autant le risque pathogène (qui reste une préoccupation omniprésente chez les producteurs). Cette focale fonde un nouvel objet scientifique, les communautés microbiennes, qui fait émerger de nouvelles propriétés de la vie microbienne : ubiquiste, et dynamique. Elle se développe de façon concomitante avec la démocratisation des méthodes moléculaires et génomiques, mais n'en est pas complètement dépendante : une partie des recherches est menée au début des années 2000 à travers des approches « culture-dépendantes » ; ce n'est qu'au milieu des années 2010 que sont financés des projets de large envergure, mobilisant des approches métagénomiques<sup>37</sup>. Celles-ci sont réputées plus puissantes que les approches par culture (car saisissant les microorganismes jusqu'à présent non cultivables), mais vont poser d'autres limites techniques. Parmi celles-ci, le fait que l'amplification des séquences ADN d'un microbiote laitier inclut sans distinction les génomes des cellules mortes et vivantes, ce qui ne permet pas d'avoir une idée précise des micro-organismes dont le métabolisme est actif à un temps t, ni de caractériser « les relais de flore » (c'est-à-dire la façon dont des microflore se succèdent durant le procès de fabrication). Par ailleurs, la phase d'identification des espèces dans les approches métagénomiques passe par la comparaison des séquences (*reads*) obtenues, avec des séquences référencées dans des bases de données issues d'espèces connues, suivie d'une assignation à une unité taxonomique si un seuil de 97 % de similarité est dépassé. Or, pour suivre les flux microbiens de la prairie au fromage, les scientifiques sont amenés à se référer à Silva, l'une des grandes bases de données de référence (Quast *et al.*, 2013), mais également à une autre établie plus récemment (DAIRYdb) pour répondre aux besoins spécifiques d'identification de microorganismes laitiers (Meola *et al.*, 2019). Or le passage de l'une à l'autre de ces bases de données interroge sur la commensurabilité des résultats entre un échantillon de sol prairial et un échantillon de lait ou de fromage.
- 32 Aujourd'hui, des actions de médiation de ces résultats de recherche auprès des professionnels de la production fromagère (éleveurs, producteurs fermiers, techniciens d'élevage) ont été mis en place, et la distinction entre les deux onto-épistémologies microbiennes apparaît tellement fondamentale que des sessions introductives sont consacrées à expliquer la différence entre souche et communautés microbiennes<sup>38</sup>. Ces observations sur les développements en France de la microbiologie fromagère, nous ont amenée à qualifier les changements en termes de « tournant de l'écologie microbienne » (*microbial ecology turn*), tournant qui ne repose pas tant sur le

retournement du regard sur les microorganismes (de négatif à positif), que sur le déplacement d'ontologie microbienne, de la souche à la communauté microbienne (Demeulenaere, à paraître).

## L'émergence de la catégorie scientifique de « microbiome » : les effets d'enclassement dans un réseau sociotechnique contingent

- 33 Le deuxième cas provient d'un travail doctoral en cours où nous (Sylvain Lallier) explorons l'émergence du concept de microbiome dans le paysage de la recherche française. Initialement introduit en 1988 pour désigner, dans le contexte du mycoparasitisme chez les plantes, « une communauté microbienne occupant un habitat défini et présentant des propriétés physico-chimiques distinctes »<sup>39</sup> (Whipps *et al.*, 1988), ce concept est resémantisé en 2001 par le microbiologiste Joshua Lederberg pour signifier « la communauté écologique des micro-organismes commensaux, symbiotiques et pathogènes qui partagent l'espace de notre corps »<sup>40</sup> (Lederberg & McCray, 2001). La même année, le microbiologiste Jeffrey Gordon, du Center for Genome Sciences aux États-Unis, l'un des centres les plus cités au monde dans le domaine, définit le microbiome comme étant « le génome collectif de nos microbes indigènes » (Hooper & Gordon, 2001)<sup>41</sup>. Quelques années plus tard, l'équipe de Gordon démontre une relation entre le microbiome intestinal et l'obésité chez l'humain (Turnbaugh *et al.*, 2006). Comparativement à des sujets maigres, les sujets obèses présentaient un ratio plus élevé de certains groupes bactériens, caractérisés par une capacité accrue à extraire l'énergie des aliments. Ces résultats permettaient pour la première fois l'identification d'une signature bactérienne associée à une maladie chronique non infectieuse.
- 34 Depuis le début des années 2000, ce concept connaît une ascension significative, qui se traduit par un nombre croissant de publications en sciences du vivant, ainsi que la création de revues académiques, sociétés savantes et groupes de travail dédiés<sup>42</sup>. En France, les données ouvertes du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) révèlent une présence accrue du concept dans les descriptifs des initiatives de recherche (demandes de brevet, appels à projets et projets financés). Les événements scientifiques destinés au grand public se sont multipliés, et le nombre d'ouvrages de vulgarisation a continuellement augmenté, souvent soutenus par certains des principaux instituts de recherche dans ce domaine.
- 35 Cet essor a été soutenu par une technique appelée métagénomique, elle-même dépendante de l'augmentation de la capacité de séquençage à haut débit de l'ADN. Sous ce terme, on distingue deux approches. La *métagénomique quantitative* ou *globale* (que certains considèrent comme la métagénomique au sens strict) consiste à fragmenter tous les ADN présents dans un échantillon, à multiplier puis à séquencer ces fragments (aussi nommés *reads*) à l'aide d'un séquenceur à haut débit, avant que les séquences obtenues ne soient ré-assemblées par bioinformatique, pour reconstruire les génomes bactériens d'origine. La *métagénomique ciblée* (aussi dite *métagénétique*) consiste à séquencer un unique gène au lieu d'un génome complet. Ce gène doit être commun à plusieurs espèces tout en présentant des régions suffisamment variables afin de discriminer des espèces. Pour l'étude des procaryotes, tels que les bactéries et les archées, le gène utilisé est celui de l'ADN ribosomique (ADNr) 16S. Ces deux approches

dépendent de l'existence de bases de données de référence pour assigner les séquences génétiques à des espèces microbiennes.

- 36 Un repère bibliographique majeur de cette histoire à succès est la thèse réalisée par Funke Sangodeyi (Sangodeyi, 2014). L'historienne des sciences retrace l'émergence au cours du XX<sup>e</sup> siècle aux Etats-Unis, de ce qu'elle appelle le « corps microbien ». Cette notion reconnaît l'importance des micro-organismes qui composent le corps humain et examine comment cette représentation a émergé et s'est diffusée, passant de travaux isolés de quelques cliniciens sur ce qui était alors appelée la microflore, à une reconnaissance élargie du microbiome dans la société étasunienne. Un événement clé relaté dans cette thèse est la publication en 2012 des premiers résultats scientifiques du Human Microbiome Project (HMP), coordonné par les National Institutes of Health et le Department of Energy. Ce projet a utilisé la métagénomique ciblée (via le gène cible ADNr 16S) pour identifier les espèces bactériennes et déterminer l'existence d'un microbiome sain de référence. Le microbiome s'instaure alors au sens commun comme une soupe de microorganismes présents dans l'intestin humain, aux effets le plus souvent bénéfiques pour la santé. Le terme microbiote, plus connu du grand public, vient consacrer la reconnaissance d'une forme d'autonomie et de propriétés émergentes à cet ensemble<sup>43</sup>.
- 37 Un examen de l'émergence du microbiome en France permet une prise de recul par rapport au récit nord-américain et la naturalisation de l'objet scientifique qu'il opère. Il s'avère en outre que la genèse du HMP est liée à la situation de la recherche scientifique française au tournant des années 2000. En octobre 2005, l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) organise une table ronde réunissant l'ensemble des acteurs du domaine. Un consensus se dégage sur la nécessité de mutualiser la puissance de séquençage disponible pour explorer la diversité des micro-organismes présents dans l'intestin humain. À son issue, tandis que les représentants américains élaborent ce qui deviendra par la suite le HMP, les représentants des États européens et asiatiques, par l'entremise de l'INRA et en collaboration avec l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), lancent leur propre projet scientifique, nommé Metagenomics of the Human Intestinal Tract (MetaHIT). Contrairement au HMP, qui se concentre sur l'identification des espèces bactériennes à partir de l'ADNr 16S, le projet MetaHIT veut identifier l'ensemble des génomes des micro-organismes présents dans l'intestin humain pour obtenir des informations sur les spécificités taxonomiques et fonctionnelles (Ehrlich, 2011). En 2012, année de clôture des deux projets, leurs résultats révèlent deux conceptions distinctes du microbiome : le HMP véhicule une représentation de la diversité microbienne centrée sur l'identification taxonomique, tandis que le projet MetaHIT conçoit cette même diversité comme un ensemble fonctionnel complexe. La conception fonctionnelle du microbiome se retrouve aujourd'hui dans le Programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) « Systèmes Alimentaires, Microbiomes et Santé » coordonné par l'INSERM et l'INRA dans le cadre de « France 2030 » : l'appel à projet lancé par le programme évoque en effet comme objectif pour la recherche l'identification de « profils microbiomiques (*qui ne se réfèrent pas à la seule composition en espèces microbiennes*) »<sup>44</sup>.
- 38 Cette divergence illustre comment la métagénomique est opérationnalisée dans des infrastructures techniques et scientifiques qui lui préexistent. En France, l'émergence du microbiome trouve ses origines dans la recherche agronomique. Dès les années 1950, la microbiologie à l'INRA s'applique majoritairement en soutien à l'industrie agro-

alimentaire. Jusqu'en 1965, la plupart des microbiologistes sont regroupés au Centre national de recherches zootechniques (CNRZ), à Jouy-en-Josas, au sein de la station de technologie des produits animaux. Dès la fin des années 1950, suite à un travail sur l'impact des antibiotiques sur l'alimentation et la croissance des animaux d'élevage (Simonnet *et al.*, 1956), une équipe de la station commence à étudier leur effet sur la microflore du tube digestif. Inspirée par les modèles d'animaux sans germes élevés sous conditions stériles conçus depuis la fin des années 1930 à l'Université Notre Dame aux États-Unis (Ervin *et al.*, 1943), cette équipe se dote d'une infrastructure adaptée à cette étude. Cette méthode s'appuie sur la culture bactérienne sur boîte de Pétri pour isoler et identifier les micro-organismes inoculés. Progressivement, l'équipe utilise également des modèles *in vitro*, comme des fermenteurs artificiels reproduisant l'écosystème digestif de bovins, d'ovins et de gallinacés, et des modèles *in vivo*, avec l'installation de fistules pour accéder directement à ces environnements internes. En 1964, elle se détache de la station pour devenir le laboratoire d'écologie microbienne, où, tout au long des décennies suivantes, sont identifiées les principales fonctions de la microflore du tube digestif chez l'animal<sup>45</sup> (Ducluzeau *et al.*, 2004).

- 39 Dès les années 1970, l'INRA intègre une nouvelle thématique scientifique axée sur la nutrition humaine (Malterre, 2010). Cette réorientation, novatrice pour l'INRA qui depuis sa création en 1946 s'est focalisé sur l'augmentation de la production agro-alimentaire, marque un tournant. En effet, l'institut passe d'un objectif de productivisme agricole à une focalisation accrue sur la qualité nutritionnelle des aliments, et une partie de ses recherches dédiées à la nutrition animale s'oriente vers l'alimentation humaine et son impact sur la santé (Poupardin & Gouet, 2001). En 1973, le laboratoire d'écologie microbienne est séparé du Département de technologie des produits animaux et transféré au Département de nutrition. Entre les années 1980 et 1990, l'une des missions du département est de soutenir les travaux abordant ces thématiques et de favoriser les collaborations avec des hôpitaux et des unités de recherche labellisées INSERM.
- 40 Ces travaux s'inscrivent dans un contexte marqué par l'apparition successive d'innovations techniques, conséquence directe de l'avènement de la biologie moléculaire. La phylogénétique, développée par le microbiologiste Carl Woese à la fin des années 1970, permet de positionner l'ensemble du vivant dans un arbre phylogénétique en utilisant la structure de l'ARN ribosomique (ARNr) (Woese & Fox, 1977). Simultanément, le biochimiste britannique Frederick Sanger met au point une méthode de séquençage par terminaison de chaîne, déterminant l'ordre des nucléotides dans l'ADN (Sanger *et al.*, 1977). Au début des années 1980, la réaction en chaîne par polymérase (PCR) développée par le biochimiste étasunien Kary Mullis permet d'amplifier l'ADN et de faciliter sa manipulation (Mullis *et al.*, 1994). En 1998, la microbiologiste Jo Handelsman développe à l'Université du Wisconsin-Madison la métagénomique, une approche novatrice appliquée à l'origine à l'étude de la vie microbienne du sol, visant l'identification par screening de nouveaux métabolites d'intérêt, sans passer par la culture en laboratoire des micro-organismes (Handelsman *et al.*, 1998). Ces changements techniques accompagnent l'essor d'un nouveau champ disciplinaire, l'écologie microbienne moléculaire, définie comme une approche de la diversité microbienne basée sur l'analyse phylogénétique du vivant (Pace, 1997).
- 41 À partir des années 1980, la direction générale de l'INRA intègre ces nouvelles techniques, ce qui conduit à une reconfiguration des équipes, des approches et des

objets d'étude en microbiologie (INRA, 1990 ; Poupardin *et al.*, 2000). À la fin des années 1990, certains scientifiques du laboratoire d'écologie microbienne participent à un réseau thématique animé par l'INRA, fédérant plusieurs communautés scientifiques intéressées par l'étude de la biodiversité au sens large. C'est par le biais de ce collectif que le laboratoire réalise l'identification génétique de la diversité microbienne intestinale chez l'humain, à partir de l'ADNr 16S d'échantillons fécaux (Suau *et al.*, 1999). En 2004, une collaboration entre le laboratoire d'écologie microbienne et l'équipe d'une unité de l'INSERM rattachée au département d'hépatogastroentérologie de l'Hôpital Européen Georges Pompidou, permet l'identification d'une signature bactérienne spécifique à la maladie de Crohn avec des techniques semblables (Seksik *et al.*, 2003).

- 42 Au début des années 2000, le microbiome est devenu un objet scientifique offrant une « image » singulière de la vie microbienne : un arbre phylogénétique des groupes bactériens dominants associés à un phénotype de l'hôte. Les traces générées en laboratoire (une collection de séquences génétiques générées à partir d'une région spécifique de l'ADNr 16S, issu d'échantillons fécaux humains) confèrent à la diversité microbienne une manière spécifique d'exister, taxonomique. En ce sens, les scientifiques ne découvrent pas seulement la diversité microbienne *telle qu'elle est*, mais produisent une connaissance de celle-ci à travers la génération d'un artefact de laboratoire, un avatar bioinformatique, permettant d'appréhender une présence ou une activité microbienne sous la forme d'un objet scientifique accessible, manipulable et interprétable.
- 43 Actuellement, le concept de microbiome se déploie transversalement dans une multitude de champs disciplinaires, allant de la bactériologie médicale à la mécanique des fluides, en passant par la physiopathologie des organismes complexes et la bioinformatique. Cependant, le microbiome reste un objet non stabilisé, comme en témoigne la diversité des conceptualisations qui lui sont associées : il est tour à tour perçu comme un organe à part entière du corps humain, une écologie influençant la physiologie d'une bactérie cible, ou encore un écosystème modélisable par voie informatique à des fins de pronostic en santé. Plusieurs définitions sont en concurrence : certaines relèvent de l'écologie (le microbiome est alors conçu comme un écosystème, composé d'une part biotique, le microbiote, et d'une part abiotique, qui en constitue le théâtre des activités) ; certaines insistent plutôt sur la relation à un hôte, dans le sillage de recherches qui se sont longtemps penchées sur les interactions hôte-pathogènes ; certaines apparaissent déterminées par les méthodes pour appréhender l'objet (le microbiome désigne alors ce que saisit la métagénomique, en l'occurrence le génome collectif des microorganismes présent dans un environnement spécifique) (Berg *et al.*, 2020).
- 44 Les scientifiques intègrent ainsi le concept de microbiome de manière variée selon leur spécialité. En effet, les pratiques épistémiques diffèrent entre bactériologistes, biologistes cellulaires, immunologistes, bioinformaticiens et physiciens. Bien que ces spécialistes puissent tous étudier des « microbiomes », les questions qu'ils posent à ces entités, les conditions expérimentales et leurs cibles d'attention varient. Par conséquent, si la littérature en sciences humaines et sociales a mis en lumière l'incarnation du microbiome selon une vision du corps humain enchevêtré avec ses « microbes » environnants et intérieurs, l'examen de son intégration dans les pratiques de laboratoire révèle un panorama diversifié de ses conceptions selon les communautés

scientifiques, chacune véhiculant une connaissance située et contingente de la vie microbienne.

- 45 Aujourd'hui les méthodes pour saisir les microbiomes se sont diversifiées : outre la métagénomique, la métatranscriptomique, la métaprotéomique, la métabolomique permettent respectivement d'analyser les ARN, les protéines, les métabolites présents dans un microbiome donné. Dans ces approches globales, on voit une ambition de traiter la complexité des communautés microbiennes. Les méthodes concourent en outre à une dissolution des barrières entre les espèces, que justifient la découverte des mécanismes de transferts horizontaux de gènes dans le monde bactérien, et les mécanismes régulatoires existants au sein des communautés microbiennes. Pourtant, chacune de ces méthodes introduit de nouveaux réductionnismes : la vie microbienne est appréhendée à travers son génome, puis à travers ses gènes exprimés (ARN), ses protéines, ses métabolites...
- 46 Le développement des recherches sur le microbiome traduit bien à nos yeux une évolution des rapports aux microorganismes. Mais elles débordent largement des questions relatives à la vie microbienne, pour questionner plus largement les conceptions de l'immunité, de la nutrition... (la liste n'est pas close), selon les disciplines qui se saisissent de cet objet. Plus que « tournant microbien », expression qui au fond devrait être réservée à cette révolution dont Pasteur a été le premier responsable techniquement et Latour intellectuellement, il faudrait l'appeler « tournant microbiomien », et disposer d'un peu plus de recul temporel pour en évaluer toute la portée. Ces développements scientifiques sont en cours et on ne peut pas exclure qu'ils donnent lieu, un jour, à la formation d'une nouvelle spécialité, l'étude des microbiomes, qui ne se superposera pas strictement avec les contours de l'actuelle microbiologie. On ne peut pas présager du nom de cette nouvelle discipline, tant la dénomination de la microbiologie a fait débat en son temps : Pasteur, lui, plaiderait fermement pour « microbie » !<sup>46</sup>

## Conclusion

- 47 Les microbes ? Sont-ce des entités de la nature ? Des objets scientifiques ? Voilà les questions que se posait Bruno Latour dans les années 1990. Elles semblent avoir été oubliées par certains travaux s'ancrant dans les études sociales des microbes, qui tendent à naturaliser leur existence, et à les renvoyer définitivement à des entités de la nature. Le programme des ethnographies multiespèces en particulier, parce qu'il s'appuie sur plusieurs héritages de Latour – le Latour anthropologue et philosophe des sciences, mais aussi le Latour penseur critique de la modernité et catalyseur d'une nouvelle écologie politique, nourrit une ambiguïté sur la façon dont les études sociales des microbes doivent saisir ces micro-organismes.
- 48 Le débat n'est pas tranché entre les deux auteurs de cet article, pour savoir si les microbes/micro-organismes existent indépendamment du travail scientifique, ou si les savoirs microbiologiques contribuent à renforcer leur existence. À ce stade de notre réflexion, l'un (Sylvain Lallier) défend que les micro-organismes sont bien réels, mais que leurs modes d'existence sont intrinsèquement liés aux réseaux sociotechniques dans lequel ils sont pris ; il ajoute que nier l'existence des micro-organismes ferait hurler les microbiologistes ! C'est la position qui pointe dans l'introduction collective de *With Microbes*, dans laquelle les auteurs s'accordent sur l'existence multiple des



microbes (The Kilpisjärvi Collective *et al.*, 2021), mais que l'usage récurrent du terme microbes semble annuler. L'autre (Élise Demeulenaere) se montre plus séduite par la philosophie de l'émergence de Latour : les microbes sont une unité d'appréhension de la vie microbienne construite par Pasteur et la microbiologie qui en hérite. Les études contemporaines des communautés microbiennes dans leur écologie, qu'elles passent par l'étude du génome ou du métabolisme global, représentent en première analyse l'adjonction d'une nouvelle « enveloppe spatio-temporelle de propositions » aux microbes. Mais elles pourraient aussi remettre en question une série de certitudes liées à l'appréhension des micro-organismes à l'échelle cellulaire. La défense par certains d'une conception du microbiote comme entité supérieure à la somme de ses parties, ou l'intérêt croissant pour le concept d'holobionte, supra-organisme émergent de l'association entre un hôte et son symbiote, semble indiquer le déplacement du regard des scientifiques vers les propriétés émergentes du vivant saisi à de plus larges échelles.

- 49 Dans nos discussions, nous jouons sans doute de façon un peu naïve les débats qui ont traversé les *science studies* dans les années 1990, et la relecture de ces textes a sans doute clarifié nos positions. À défaut de trancher ce débat philosophique, nous sommes au moins d'accord sur quelques points méthodologiques. Tout d'abord, dès lors qu'il s'agit d'étudier les relations des humains au vivant invisible à l'œil nu, il convient de faire apparaître les médiations techniques ou pratiques par lesquels la vie microbienne est saisie ; de rendre compte des traces matérielles par lesquelles la présence ou l'activité des entités microbiennes existent. Par ailleurs, nous appelons à prêter une attention scrupuleuse au vocabulaire des acteurs, qui n'est jamais réductible à celui, générique, et désuet en français, de « microbe ». Disant cela, nous n'adhérons pas à un nominalisme strict (selon lequel les choses n'existent que lorsqu'elles sont nommées), mais reconnaissons aux mots un pouvoir d'expression conceptuelle. Sans quoi, les *science studies* risquent de passer à côté des développements contemporains de la microbiologie et des disciplines afférentes, lorsqu'elles s'attaquent à la construction de nouveaux objets scientifiques, tels que microbiote, holobionte, Gaïa... (et qui n'ont plus grand-chose à voir, directement, avec les microbes)<sup>47</sup>. Sans quoi, on ne peut pas saisir le pluralisme ontologique inhérent aux sciences de la vie (Dupré, 2012).
- 50 Notre démonstration aimerait valoir pour l'ensemble des ethnographies multiespèces. Dans ce courant, l'existence des non-humains n'y est pas suffisamment problématisée : les non-humains semblent exister sous une forme et avec une agentivité indépendantes des réseaux d'actants dans lesquels ils sont pris. Ce faisant, les ethnographies multiespèces passent sous silence toute la philosophie de l'émergence qui est au cœur de la pensée de Latour, et qu'on retrouve dans la théorie de l'acteur-réseau, que ce soit dans sa version originale, ou dans sa réinterprétation dans le monde anglophone (Mol, 2002, 1998). Dans ce phylum intellectuel, le monde réel (et les entités qui le composent) émerge(nt) des pratiques situées des acteurs ; il est mis en acte (*enacted*) par des engagements pratiques. Il en résulte des ontologies empiriquement élaborées (Law & Lien, 2013). La pertinence d'une philosophie de l'émergence est plus facile à expliquer dès lors qu'on touche à la vie microbienne : dans le domaine du vivant invisible à l'œil nu, on ne peut pas ignorer que les entités microbiennes ne sont appréhendables que par des médiations. Elles sont mises en acte par des pratiques scientifiques ou techniques. Mais des travaux ethnographiques montrent la pertinence de ce cadre théorique pour d'autres vivants non-humains. Dans un travail ethnographique mené en collaboration avec John Law, l'anthropologue norvégienne Marianne Lien, par exemple,



a montré comment différentes configurations d'élevage de saumons, font émerger différents saumons (Lien, 2015). Il s'agit au fond de rappeler que la nature aussi a une histoire : une histoire qui n'est pas que *naturelle*, qui n'est pas non plus seulement histoire des représentations, mais aussi issue des enchevêtrements matériels et sémiotiques dans lesquels elle est prise, et qui impliquent des humains. Pour le comprendre, il faut relire Latour, non pas tant le théoricien de l'écologie politique qu'il est devenu au tournant du siècle, mais bien plutôt, le philosophe, historien et anthropologue des sciences passionné de Pasteur.

*Ce texte s'est nourri des réflexions autour de la préparation du dossier thématique « Un tournant microbien » dirigé par Charlotte Brives et Alexis Zimmer et publié dans la Revue d'anthropologie des connaissances en 2021 ; il a été enrichi par des discussions ponctuelles ou régulières avec Marc Barbier, Catherine Bourgain, Frédéric Keck, Daniel Raichvarg. Il a bénéficié de la relecture de Céline Granjou, Germain Meulemans et Dominique Vinck. Nous les remercions, tout en gardant la pleine responsabilité de nos propos et de nos éventuelles erreurs.*

---

## BIBLIOGRAPHIE

Adenis, M.-S. (2021). Petites Vies. Gloire aux microbes. *Socialter*. <https://www.socialter.fr/article/gloires-aux-microbes>

Alves Duarte Da Silva, M., French, O., Keck, F. & Skotnes-Brown, J. (2023). Introduction: Disease reservoirs: from colonial medicine to one health. <https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/28070> [Accessed 8th August 2024].

Baptiste, É. (2020). Les microbes sont passés du statut d'ennemi à celui d'allié potentiel et de coarchitectes de notre monde. *Pour la Science*, Hors Série n°109 : Les vrais pouvoirs des microbiotes sur notre santé.

Barnéoud, L. (2022). Faut-il apprendre à vivre avec les microbes ? *Mediapart*. <https://www.mediapart.fr/journal/france/090822/faut-il-apprendre-vivre-avec-les-microbes> [Accessed 26th July 2024].

Benezra, A., DeStefano, J. & Gordon, J.I. (2012). Anthropology of microbes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(17), 6378–6381. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200515109>

Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M.-C.C., Charles, T., Chen, X., Cocolin, L., Eversole, K., Corral, G.H., Kazou, M., Kinkel, L., Lange, L., Lima, N., Loy, A., Macklin, J.A., Maguin, E., Mauchline, T., McClure, R., Mitter, B., Ryan, M., Sarand, I., Smidt, H., Schelkle, B., Roume, H., Kiran, G.S., Selvin, J., de Souza, R.S.C., van Overbeek, L., Singh, B.K., Wagner, M., Walsh, A., Sessitsch, A. & Schloter, M. (2020). Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>

Blaser, M. (2014). *Missing Microbes, how the overuse of antibiotics is fueling our modern plagues*. London: Henry Holt & Co.

Brives, C. (2022). *Face à l'antibiorésistance. Une écologie politique des microbes*. Paris : Amsterdam.

- Brives, C. & Zimmer, A. (2021). Écologies et promesses du tournant microbien. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 15(3). <https://doi.org/10.4000/rac.24895>
- Cornu, P., Valceschini, E. & Maeght-Bournay, O. (2018). *L'histoire de l'Inra, entre science et politique*. Versailles : Quae.
- Daston, L. (Ed.) (2000). *Biographies of Scientific Objects* (1<sup>st</sup> edition). Chicago: University of Chicago Press.
- de Parville, H. (1876). Les micro-organismes nombreux et prolifères. *Journal Officiel*, 1136.
- Delfosse, C. (2007). *La France fromagère (1850-1990)* (coll. Mondes ruraux contemporains). Paris : Boutique De L'histoire.
- Demeulenaere, É. (à paraître). In Search of the Microbial Path to Terroir. A Place-based History of French Cheese Microbiology, 1990s. *History and Philosophy of the Life Sciences*.
- Demeulenaere, É. & Lagrola, M. (2021). Des indicateurs pour accompagner « les éleveurs de microbes ». Une communauté épistémique face au problème des laits « paucimicrobiens » dans la production fromagère au lait cru (1995-2015). *Revue d'anthropologie des connaissances*, 15(3). <https://doi.org/10.4000/rac.24953>
- Ducluzeau, R., Desbrosses, B. & Poupardin, D. (2004). Robert Ducluzeau : témoignage. In *Archorales : les métiers de la recherche, témoignages* (vol. 10, pp. 163-196), Éditions INRA. <https://hal.inrae.fr/hal-02828504> [Accessed 5th August 2024].
- Ducluzeau, R. & Raibaud, P. (1979). *Écologie microbienne du tube digestif : ces microbes qui nous protègent* (coll. Actualités scientifiques et agronomiques de l'INRA). Paris : Masson. <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb34626131c> [Accessed 8th August 2024].
- Dupré, J. (2012). *Processes of Life: Essays in the Philosophy of Biology*. Oxford University Press.
- Dupré, J. & O'Malley, M.A. (2007). Metagenomics and biological ontology. *Studies in history and philosophy of biological and biomedical sciences*, 38(4), 834-846. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2007.09.001>
- Ehrlich, S.D. (2011). MetaHIT: The European Union Project on Metagenomics of the Human Intestinal Tract. In: K.E. Nelson (Ed.). *Metagenomics of the Human Body*. Springer (pp. 307-316). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7089-3>
- Ervin, R.F., Trexler, P.C. & Reyniers, J.A. (1943). History of Bacteriology at the University of Notre Dame. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 53, 62-65.
- Flachs, A. & Orkin, J.D. (2019). Fermentation and the Ethnobiology of Microbial Entanglement. *Ethnobiology Letters*, 10(1), 35-39. <https://doi.org/10.14237/ebl.10.1.2019.1481>
- Fortané, N. (2021). Antimicrobial resistance: preventive approaches to the rescue? Professional expertise and business model of French “industrial” veterinarians. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 102(2), 213-238. <https://doi.org/10.1007/s41130-019-00098-4>
- Fortané, N. (2015). La surveillance comme dispositif-frontière. La triple ontologie des bactéries résistantes d'origine animale. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 9(2), 265-290.
- Fournier, D. & D'Onofrio, S. (Eds.) (1995). *Le ferment divin, Ethnologie de la France*. Paris : MSH. <https://books.openedition.org/editionsms/2389?lang=fr>
- Granjou, C. & Phillips, C. (2019). Living and labouring soils: Metagenomic ecology and a new agricultural revolution? *BioSocieties*, 14(3), 393-415. <https://doi.org/10.1057/s41292-018-0133-0>

- Greenhough, B., Read, C.J., Lorimer, J., Lezaun, J., McLeod, C., Benezra, A., Bloomfield, S., Brown, T., Clinch, M., D'Acquisto, F., Dumitriu, A., Evans, J., Fawcett, N., Fortané, N., Hall, L.J., Giraldo Herrera, C.E., Hodgetts, T., Johnson, K.V.-A., Kirchhelle, C., Krzywoszynska, A., Lambert, H., Monaghan, T., Nading, A., Nerlich, B., Singer, A.C., Szymanski, E. & Wills, J. (2020). Setting the agenda for social science research on the human microbiome. *Palgrave Communications*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-0388-5>
- Handelsman, J., Rondon, M.R., Brady, S.F., Clardy, J. & Goodman, R.M. (1998). Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: a new frontier for natural products. *Chemistry & Biology*, 5(10), R245–R249. [https://doi.org/10.1016/S1074-5521\(98\)90108-9](https://doi.org/10.1016/S1074-5521(98)90108-9)
- Haraoui, L.-P., Rizk, A. & Landecker, H. (2024). States of Resistance: nosocomial and environmental approaches to antimicrobial resistance in Lebanon. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 46(3), 28. <https://doi.org/10.1007/s40656-024-00624-8>
- Haraway, D.J. (2008). *When Species Meet*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Hawsworth, D.L. & Colwell, R.R. (1992). Microbial Diversity 21: biodiversity amongst microorganisms and its relevance. *Biodiversity & Conservation*, 1(4), 221–226. <https://doi.org/10.1007/BF00693760>
- Helmreich, S. (2009). *Alien Ocean: Anthropological Voyages in Microbial Seas*. University of California Press.
- Hendy, J., Rest, M., Aldenderfer, M. & Warinner, C. (2021). Cultures of Fermentation: Living with Microbes: An Introduction to Supplement 24. *Current Anthropology*, 62(S24), S197–S206. <https://doi.org/10.1086/715476>
- Hooper, L.V. & Gordon, J.I. (2001). Commensal host-bacterial relationships in the gut. *Science*, 292(5519), 1115–1118. <https://doi.org/10.1126/science.1058709>
- INRA (1990). *Présentation générale du centre de recherches I.N.R.A de Jouy-en-Josas* [document interne].
- Irlinger, F., Mariadassou, M., Dugat-Bony, E., Rué, O., Neuvéglise, C., Renault, P., Rifa, E., Theil, S., Loux, V., Cruaud, C., Gavory, F., Barbe, V., Lasbleiz, R., Gaucheron, F., Spelle, C. & Delbès, C. (2024). A comprehensive, large-scale analysis of “terroir” cheese and milk microbiota reveals profiles strongly shaped by both geographical and human factors. *ISME Communications*, 4(1), ycae095. <https://doi.org/10.1093/ismeco/ycae095>
- Keck, F. (2020). *Les sentinelles des pandémies : Chasseurs de virus et observateurs d'oiseaux aux frontières de la Chine*. Bruxelles : Zones Sensibles Editions.
- Keck, F. (2017). Anthropologie des microbes. L'oubli de l'immunologie et la révolution du microbiome. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, (68), 230–247. <https://doi.org/10.4000/tc.8646>
- Kirchhelle, C. (2023). The Antibiocene – towards an eco-social analysis of humanity's antimicrobial footprint. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02127-6>
- Kirchhelle, C. (2020). *Pyrrhic Progress: The History of Antibiotics in Anglo-American Food Production, Critical Issues in Health and Medicine*. New Brunswick (NJ): Rutgers University Press.
- Kirksey, S.E. & Helmreich, S. (2010). The Emergence of Multispecies Ethnography. *Cultural Anthropology*, 25(4), 545–576. <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2010.01069.x>
- Lagrola, M. (2024). Faire place nette pour la transformation fromagère. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 18(2). <https://doi.org/10.4000/11r9p>

- Latour, B. (1984). *Les microbes : guerre et paix ; suivi de Irréductions*. Paris : Métailié.
- Latour, B. (1991). *Nous n'avons jamais été modernes : essai d'anthropologie symétrique*. Paris : La Découverte.
- Latour, B. (1996). Do Scientific Objects have a History? Pasteur and Whitehead in a Bath of Lactic Acid. *Common Knowledge*, 1(5), 76–91.
- Latour, B. (1999a). *Politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie*. Paris : La Découverte & Syros.
- Latour, B. (1999b). The Historicity of Things. Where were microbes before Pasteur made them up? In: *Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies* (chap. 5, pp. 145–173). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, B. (1999c). From Fabrication to Reality. Pasteur and His Lactic Acid Ferment. In: *Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies* (chap. 4, pp. 113–144). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, B. (1999d). *Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, B. (2000). On the Partial Existence of Existing and Nonexisting Objects. In: L. Daston (Ed.). *Biographies of Scientific Objects* (pp. 247–269). Chicago: University of Chicago Press.
- Latour, B. (2001a). Le ferment lactique et la fabrication de la réalité. Dans : *L'Espoir de Pandore. Pour Une Vision Réaliste de l'activité Scientifique* (chap. 4, pp. 117–150). Paris : La Découverte.
- Latour, B. (2001b). Pasteur et l'historicité des choses. Dans : *L'Espoir de Pandore. Pour Une Vision Réaliste de l'activité Scientifique* (chap. 5, pp. 151–181). Paris : La Découverte.
- Latour, B. (2001c). *L'Espoir de Pandore. Pour une vision réaliste de l'activité scientifique*. Paris : La Découverte.
- Latour, B. (2011). Préface de la nouvelle édition. Dans : *Pasteur : guerre et paix des microbes*, (coll. Poche / Sciences humaines et sociales, pp. 7–14). Paris : La Découverte.
- Latour, B. (2015). *Face à Gaïa. Huit conférences sur le nouveau régime climatique*. Paris : Empêcheurs de penser rond.
- Law, J. & Lien, M.E. (2013). Slippery: Field notes in empirical ontology. *Social Studies of Science*, 43(3), 363–378. <https://doi.org/10.1177/0306312712456947>
- Lederberg, J. & McCray, A. (2001). 'Ome Sweet' Omics. A Genealogical Treasury of Words. *The Scientist*, 15(7), 8.
- Lee, V. (2021). *The Arts of the Microbial World: Fermentation Science in Twentieth-Century Japan*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lee, V. (2018). Microbial Transformations: The Japanese Domestication of Penicillin Production, 1946–1951. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 48(4), 441–474. <https://doi.org/10.1525/hsns.2018.48.4.441>
- Lien, M.E. (2015). *Becoming Salmon: Aquaculture and the Domestication of a Fish*. Oakland. California: University of California Press.
- Malterre, C. (2010). Claude Malterre : témoignage. Editions INRA. <https://hal.inrae.fr/hal-02817993> [Accessed 5th August 2024].

- Meola, M., Rifa, E., Shani, N., Delbès, C., Berthoud, H. & Chassard, C. (2019). DAIRYdb: a manually curated reference database for improved taxonomy annotation of 16S rRNA gene sequences from dairy products. *BMC Genomics*, 20(1), 560. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5914-8>
- Mol, A. (2002). *The Body Multiple: Ontology in Medical Practice*. Durham: Duke University Press.
- Mol, A. (1998). Ontological Politics. A Word and Some Questions. *Sociological Review*, 46(S), 74–89. <https://doi.org/10.1111/1467-954X.46.s.5>
- Mullis, K.B., Ferré, F. & Gibbs, R.A. (1994). *The Polymerase Chain Reaction*. Boston: Springer.
- Myles, C.C. (Ed.). (2020). *Fermented Landscapes: Lively Processes of Socio-environmental Transformation*. University of Nebraska Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvwh8f20>
- Nabhan, G.P. (2010). Ethnobiology for a Diverse World: Microbial Ethnobiology and the Loss of Distinctive Food Cultures. *Journal of Ethnobiology*, 30(2), 181–183. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-30.2.181>
- O'Malley, M.A. (2011). Decentring Humans? Imagining a Microbially Inspired Sociology. *Metascience*, 20(1), 127–130. <https://doi.org/10.1007/s11016-010-9442-z>
- Pace, N.R. (1997). A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere. *Science*, 276(5313), 734–740. <https://doi.org/10.1126/science.276.5313.734>
- Paxson, H. (2012). *The Life of Cheese. Crafting Food and Value in America* (coll. California Studies in Food and Culture). Berkeley, Calif.: University of California Press.
- Paxson, H. (2008). Post-Pasteurian Cultures: The Microbiopolitics of Raw-Milk Cheese in the United States. *Cultural Anthropology*, 23(1), 15–47.
- Paxson, H. & Helmreich, S. (2017). Périls et promesses de l'abondance microbienne. *Techniques & Culture*, (68), 248–285.
- Paxson, H. & Helmreich, S. (2014). The Perils and Promises of Microbial Abundance: Novel Natures and Model Ecosystems, from Artisanal Cheese to Alien Seas. *Social Studies of Science*, 44(2), 165–193. <https://doi.org/10.1177/0306312713505003>
- Poupardin, D., Desmazeaud, M. & Goacolou, J. (2000). Michel Desmazeaud : témoignage. In *Archorales : les métiers de la recherche, témoignages* (vol. 4), Éditions INRA. <https://hal.inrae.fr/hal-02834792> [Accessed 5th August 2024].
- Poupardin, D. & Gouet, P. (2001). Philippe Gouet : témoignage. In *Archorales : les métiers de la recherche, témoignages* (vol. 5), Éditions INRA. <https://hal.inrae.fr/hal-02833836> Accessed 5th August 2024].
- Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., Peplies, J. & Glöckner, F.O. (2013). The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Research*, 41(D1), D590–D596. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>
- Raffaetà, R. (2022). *Metagenomic Futures: How Microbiome Research Is Reconfiguring Health and What It Means to Be Human*. London: Routledge.
- Raichvarg, D. (1995). Mots contre Maux. Essai sur la Microbiomanie scientifique et vulgaire. *Alliage*, (22), 32–38.
- Rest, M. (2021). Preserving the Microbial Commons. *Current Anthropology*, 62(S24). <https://doi.org/10.1086/715810>
- Rey, A. (2011). *Dictionnaire historique de la langue française*. Paris : Nathan.

- Richard, J. & Daufin, G. (1973). Qualité bactériologique du lait cru. Dans : Direction scientifique des Productions Animales (dir.). *Recherches en productions animales, Regards sur la France* (pp. 165–166). Service de Presse, Edition, Information (SPEI).
- Sanger, F., Nicklen, S. & Coulson, A.R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(12), 5463–5467. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>
- Sangodeyi, F.I. (2014). *The Making of Microbial Body, 1900s-2012*. Harvard University.
- Sariola, S. (2021). Fermentation in Post-Antibiotic Worlds. *Current Anthropology*, S000–S000. <https://doi.org/10.1086/715208>
- Seguin, E. & Lord, L.-O. (2023). Bruno Latour’s Science Is Politics By Other Means: Between Politics and Ontology. *Perspectives on Science*, 31(1), 9–39. [https://doi.org/10.1162/posc\\_a\\_00579](https://doi.org/10.1162/posc_a_00579)
- Seksik, P., Rigottier-Gois, L., Gramet, G., Sutren, M., Pochart, P., Marteau, P., Jian, R. & Doré, J. (2003). Alterations of the dominant faecal bacterial groups in patients with Crohn’s disease of the colon. *Gut*, 52(2), 237–242.
- Selosse, M.-A. (2017). *Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Actes Sud.
- Simon, M. (2024). *Les microbes sont nos alliés plus que nos ennemis*. Usbek & Rica, <https://usbeketrica.com/fr/article/les-microbes-sont-nos-allies-plus-que-nos-ennemis> [Accessed 26th July 2024].
- Simonnet, M., Jacquot, M., Calet, M., François, M., Raibaud, M., Michel, M., Lallouette, M., Zelter, M., Terroine, E., Radisson, M., Février, M., Salmon-Legagneur, M., Pérot, M., Péro, M., Bars, M.L., Ferrando, R. & Joubert (1956). Le rôle des antibiotiques dans la croissance. *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 10(5/6), 79–150.
- Stengers, I. & Latour, B. (2009). Le sphinx de l’œuvre. Dans : E. Souriau *Les différents modes d’existence*, suivi de *Du mode d’existence de l’œuvre à faire* (coll. MétaphysiqueS, pp. 1–75). Paris : Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.souri.2009.01.0002>
- Suau, A., Bonnet, R., Sutren, M., Godon, J.-J., Gibson, G.R., Collins, M.D. & Doré, J. (1999). Direct Analysis of Genes Encoding 16S rRNA from Complex Communities Reveals Many Novel Molecular Species within the Human Gut. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(11), 4799–4807. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.11.4799-4807.1999>
- Tancoigne, É. (2021). Régimes de sélection microbienne. Le cas du microbe laitier (France, 1970-1999). *Revue d’anthropologie des connaissances*, 15(3). <https://doi.org/10.4000/rac.25075>
- Terroine, E.-F., Auclair, M., Mocquot, M., Bigorre, M., Bourasse, M., Pillon, M., Sainclivier, M., Tapernoux, M., Broyelle, M., Janowski, M., Jarrousse, M., Giroux, M., Saulnier, M., Chanier, M., Guerauld, M., Lejot, M. & Lesne, M. (1956). L’amélioration de la qualité du lait. *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 10(5/6), 33–77.
- The Kilpisjärvi Collective, Atkinson, S., Brives, C., Biederman, S., Cañada, J.A., Chartier, D., Davidson, A.C., Evans, J.D., Fortané, N., Kinnunen, V., Legrand, M., Oinas, E., Rest, M., Sariola, S., Thompson, A. & Will, C. (2021). Introducing With Microbes: From witnessing to withnessing. In: C. Brives, M. Rest & S. Sariola (Eds.), *With Microbes* (pp. 17–40). Manchester, UK: Mattering Press.
- Vuitton, D.-A., Divaret-Chauveau, A., Dalphin, M.-L., Laplante, J.-J., von Mutius, E. & Dalphin, J.-C. (2019). Protection contre l’allergie par l’environnement de la ferme : en 15 ans, qu’avons-nous appris de la cohorte européenne « PASTURE » ? *Bulletin de l’Académie Nationale de Médecine*, 203(7), 618–630. <https://doi.org/10.1016/j.banm.2019.05.020>

Whipps, L.W., Lewis, K. & Cooke, R.C. (1988). Mycoparasitism and plant disease control. In: M.N. Burge (Ed.), *Fungi in Biological Control Systems* (pp. 161–187). Manchester University Press.

Woese, C.R. & Fox, G.E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(11), 5088–5090. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.11.5088>

Zimmer, A. (2019). Collecter, conserver, cultiver des microbiotes intestinaux. *Écologie politique*, 58(1), 135–150.

## NOTES

1. Pour un aperçu plus complet, voir (Brives & Zimmer, 2021).
2. “Multispecies ethnography centers on how a multitude of organisms’ livelihoods shape and are shaped by political, economic, and cultural forces”.
3. “*Departing from classically ethnobiological subjects, useful plants and charismatic animals, multispecies ethnographers also brought understudied organisms—such as insects, fungi, and microbes—into anthropological conversations*”
4. Les deux formules font référence à la controverse qui avait opposée dans les années 1970 le structuraliste Claude Lévi-Strauss et le matérialiste Marvin Harris.
5. Pour bien comprendre ce glissement, il faut revenir au glossaire des *Politiques de la nature* dans lequel « Porte-Parole » est défini comme une « Expression d’abord utilisée pour montrer la parenté profonde des représentants des humains (au sens politique) et des représentants des non-humains (au sens épistémologique) ». On voit bien à l’aune de cet énoncé qu’une utilisation au sens commun du concept de porte-parole fait disparaître la dimension épistémologique, de même que toutes les questions sous-jacentes au porte-parolat, telle que la fidélité de la représentation, ou la difficulté d’exprimer un sens qui ne se manifeste pas de façon transparente mais a toujours besoin, selon Latour, de médiations (voir aussi les entrées du glossaire : « témoin fiable » et « embarras de parole ») (Latour, 1999a).
6. “Pasteurian practices configure microbes as elements to be eliminated so that human politics might be cultivated”.
7. “A post-Pasteurian care of the self goes through the obligatory passage point of caring for the microbe—the good microbe, the *Lactobacillus* or *Penicillium* companion species whose bodies and cultures are coproduced with human ones”.
8. Pour une description fine du travail de préparation réalisé par des fromagers valorisant les microflore natives du lait cru, voir (Lagrola, 2024). Le soin aux microflore natives du lait cru passe par un nettoyage raisonné des différents « réservoirs de flore » (selon le terme consacré par les microbiologistes spécialistes du sujet), et une attention à créer des « ambiances » favorables (éviter des déjections animales – qu’il s’agisse des animaux d’élevage ou d’espèces commensales ; aération des salles de traite...).
9. Nous citons dans le texte : « Le tournant microbien emprunté ces dernières années par la biologie marque à notre sens l’avènement d’une nouvelle conception ascendante de la ‘nature’... » (Paxson & Helmreich, 2017, p. 250).
10. Ces textes tombent paradoxalement dans l’écueil même que Paxson et Helmreich dénoncent en 2014 : traiter les microbes comme une classe naturelle, réifier les microbes (nous y reviendrons).
11. L’analyse d’un tournant « probiotique » renvoie aux travaux du géographe Jamie Lorimer (Lorimer, 2017).



12. Nous attirons l'attention du lecteur sur la métaphore visuelle souvent utilisée pour décrire cette méthode. Nous reviendrons plus tard, textes de Bruno Latour à l'appui, sur ses limites pour décrire l'activité scientifique.

13. On cite régulièrement un pourcentage de plus de 90 %... voire de 99,9 %, de microorganismes non cultivables. Ce chiffre, d'abord établi en référence à la diversité microbienne du sol (Handelsman, Rondon, Brady *et al.*, 1998), s'avère très variable d'un environnement à l'autre. On imagine par exemple qu'il est bien moindre pour les microorganismes laitiers, qui par définition, poussent dans un milieu de culture déjà connu : le lait.

14. Voir par exemple le forum organisé à Paris en 2021 par l'historienne des sciences Victoria Lee, "Our Microbial Lives: A Forum Against Eradication". <https://www.youtube.com/watch?v=PhbL0Ch6ndY>; ou le projet artistique développé par Marie-Sarah Adenis "Glory to the Microbes" <https://www.glorytothemicrobes.com/en/>

Outre les magazines de vulgarisation de la science, tel *Pour la Science* (Baptiste, 2020), l'argument trouve également place dans les médias culturels : on citera par exemple le Hors-Série « Renouer avec le vivant » de *Socialter*, « magazine de critique radicale et alternatives » (Adenis, 2021) ; l'article relayant l'exposition Gloire aux microbes dans *Usbek & Rica - le média qui explore le futur* (Simon, 2024), ou encore l'épisode « Faut-il apprendre à vivre avec les microbes » publié en 2022 dans la série de *Mediapart* « 5 leçons à tirer de la pandémie » (Barnéoud, 2022), dont le contexte de publication a suscité des commentaires contrastés.

15. On pourrait trouver d'autres exemples dans les sessions dédiées aux microbes des conférences internationales d'anthropologie sociale ou d'études des sciences, dans des articles publiés dans des revues plus périphériques, dans des journées d'étude, ou dans des espaces frontières entre l'art et la science. Nous nous arrêtons sur cet article en particulier parce qu'il est passé par l'évaluation par les pairs d'une revue prestigieuse.

16. "When microbes were first seen in the eighteenth century with the help of magnifying, microscopic, and culturing methods, notions about them quickly went from amazement to campaigns that aimed to control, sterilize, purify, and disinfect. These campaigns deemed microbes as dirty, dangerous, and disease causing. Such has been the fear of microbes that since antibiotics were discovered in 1928 (Kirchhelle, 2020), antibiotics have become considered as a medical miracle and an essential tool in what was assumed a good for human health: disinfection and elimination of bacteria" (Sariola, 2021).

17. "Metagenomic research methods developed in the 2000s (Dupré & O'Malley, 2007) have demonstrated that microbes are everywhere, in quantities that were previously unanticipated. Metagenomic analysis has made space for research that brings to question the notion of bacteria as just pathogenic" (Sariola, 2021).

18. "There has been an increased interest among communities, biomedical researchers, and pre- and probiotic producers in exploring alternative ways of cultivating relations between humans and microbes. In this context, microbes that were traditionally seen to be dangerous, contagious, and dirty are also seen as essential companions" (Sariola, 2021).

19. Sur la critique de la généalogie simplifiée offerte par le tournant microbien, voir le dossier coordonné par Charlotte Brives et Alexis Zimmer dans la *Revue d'Anthropologie des Connaissances* (Brives & Zimmer, 2021).

20. La critique, si elle est justifiée, a cependant pour conséquence malheureuse de faire parfois tomber Paxson et Helmreich dans le langage de la représentation (les microbes sont « pensés » ; ils sont « représentés »)... et à traiter de façon un peu rapide le matérialisme subtil au cœur de la sociologie des sciences (nous y revenons).

21. Lorsqu'elles sont formatées au style impulsé par les ethnographies multiespèces, les études de fermentation prennent le risque de s'éloigner des canons méthodologiques de l'anthropologie et de la démarche émique qu'elle privilégie. Les praticiens de la fermentation en effet abordent indirectement les manifestations de la vie microbienne – par l'appréciation de la texture du caillé

du lait, ou de son odeur, par l'écoute des bruits dans les cuves de fermentation, par l'observation de la transformation d'un tas de fumier... Leur objet d'attention est le « ferment », cette matière vivante qui est investie dans différentes cultures (voir les travaux de la sinologue Françoise Sabban sur le *qu* ; ceux d'Alice Doublier sur le *koji* japonais). Ce n'est que récemment que certains d'entre eux sont outillés de connaissance et d'instruments qui leur permettent d'accéder plus directement aux « microbes » – mais dans bien des lieux, ce n'est pas le cas.

22. « Ces germes ont reçu tant de noms différents que l'on finit par s'y perdre. Ainsi, on les appelle schizophytes, micrococcus, bactéries, micro-organismes, bacilles, vibrions, etc. J'en passe. Je crois utile de remplacer toutes ces dénominations par un nom générique, plus simple. Je propose en conséquence le nom général de microbe. J'ai consulté à cet égard mon ami Littré, qui approuve mon choix » écrit Sédillot dans le compte-rendu intitulé *Applications des travaux de M. Pasteur*.

23. Paradoxe : « RHÉT. Alliance de mots antithétiques choisis pour exprimer de manière frappante, souvent brillante, une idée, une opinion qui heurte la logique. (Dict. XIX<sup>e</sup> s.): (<https://www.cnrtl.fr/definition/paradoxe> [consulté le 15 juillet 2024]).

24. Daston note que souvent, c'est a posteriori, une fois établis, que les objets scientifiques font l'objet d'une naturalisation – on entend par là, que le récit historiographique retiendra que tel ou tel savant l'a « découvert » (et non pas inventé, construit, fait).

25. En français, « Le ferment lactique et la fabrication de la réalité » (Latour, 2001a).

26. L'italique figure dans la version originale. Pour rappel, les sciences sociales dans les années 1970-1990 ont été fortement marquées par la proposition selon laquelle les choses sont « socialement construites ». Appliqué à l'étude des sciences, le constructivisme social a pu donner lieu à des accusations de relativisme (l'idée que la réalité n'existe pas). Bruno Latour et son co-auteur Steve Woolgar ont sacrifié un temps à cette vogue. Ainsi leur ouvrage *Laboratory Life (La Vie de laboratoire)* paru en 1979 avait pour sous-titre « *The Social Construction of Scientific Facts* ». Mais lorsqu'il reparaît en 1986, le sous-titre est reformulé « *The Construction of Scientific Facts* », précisant la pensée des deux auteurs, qui entendent analyser la construction des faits scientifiques sans pour autant défendre que la science n'est qu'une construction sociale (quant à la traduction française parue en 1988, elle sous-titre « la production des faits scientifiques »). Dans *Pandora's Hope*, publié dans la suite de l'affaire Sokal, Latour revient en longueur sur les incompréhensions que l'approche constructiviste des *sciences studies* a suscitées, précise la « réalité des *science studies* » et défend « une vision réaliste de l'activité scientifique » (ainsi que le posent les sous-titres des versions en anglais et en français) (Latour, 2001c, 1999d).

27. Latour utilise aussi le terme « nom d'action », défini dans le glossaire comme : « expression qui décrit les situations singulières – telles les expériences – où un acteur se constitue à partir des épreuves qui lui ont été imposées. L'acteur ne dispose pas encore d'une essence. Il n'est défini que par une liste de résultats – ou de performances – sur les cahiers de laboratoire. Ce n'est que par la suite que l'on déduira de ces performances une compétence, c'est-à-dire une substance susceptible d'expliquer pourquoi l'acteur se comporte de cette façon. L'expression 'nom d'action' est un rappel de l'origine pragmatique de tous les états de fait ».

28. Cette définition pourrait être raffinée. Les virus ne remplissent en effet pas tous les critères qui définissent un être vivant : ils sont certes dotés d'une membrane qui sépare leur intérieur de l'extérieur ; ils contiennent des molécules (ARN ou ADN) qui définissent leur identité génétique ; en revanche ils ne possèdent pas l'appareil métabolique qui leur permet d'assurer seuls leur reproduction, celle-ci s'opère par détournement du métabolisme des cellules qu'ils infectent. En outre, selon les acceptions des microorganismes, on parle exclusivement d'êtres unicellulaires, ou on inclut également des êtres pluricellulaires.

29. Ce sens est qualifié d'ontologique, car ici les propositions ne sont pas des énoncés, mais bien des actants.

30. En français, « Pasteur et l'historicité des choses » (Latour, 2001b).

31. Latour tourne autour de différents termes, en anglais et en français, dont la sémantique se déplace de la fabrique à l'émergence : « *fabrication* », comme lorsqu'il commente la fabrication de la réalité à partir de l'exemple de Pasteur qui travaille sur les ferments (Latour, 2001a, 1999c), « *make up* » (traduit dans la version française par « donner forme à »), comme dans « *did ferments exist before Pasteur made them up ?* », « *where were microbes before Pasteur made them up* » (Latour, 1999b) ; dans d'autres textes, on trouve « *bring about* », traduit par « faire émerger », « *bring into existence* ». Ce champ sémantique est à rapprocher du « *to enact* » utilisé par les auteurs inspirés par Annemarie Mol (Mol, 2002).

32. Cette section reprend des éléments d'un article à paraître dans le dossier thématique « Rethinking the History of Microbiology » coordonné par Matheus Duarte et Mathilde Gallay Keller dans *History and Philosophy of the Life Sciences* : <https://link.springer.com/collections/jdhfjdibag> (Demeulenaere, à paraître).

33. Marie-Christine Montel, INRAE Aurillac, communication personnelle.

34. Les RMT sont des réseaux de recherche d'appui au monde agricole financés par le Ministère de l'agriculture.

35. A défaut d'activité fermentaire suffisante, la formation du caillé ne se fait pas bien. Par ailleurs, dans certaines technologies fromagères (celles qui ne prévoient pas une forte élévation de température), il est très important pour les fromagers d'assurer une acidification rapide du lait en début de process, pour contrer les proliférations pathogènes.

36. Cette expression, promue par Éric Beuvier (INRAE Poligny, Jura), veut se substituer à celle de « contamination ».

37. Le premier est le projet MetaPDOCheese, qui offre une cartographie des microbiotes fromagers de 44 AOP fromagères (Irlinger *et al.*, 2024) ; il est suivi d'une part du projet ADAMOS (2019-2022) qui vise une appropriation des méthodes omics par les filières, d'autre part du projet TANDEM (en cours) qui cherche à « caractériser et comprendre le rôle des microbiotes et des flux microbiens tout au long du système alimentaire laitier, du sol au fromage ».

38. Voir la présentation du projet soutenu par le RMT Fromages de terroir, ADAMOS (« Un nouveau regard sur les écosystèmes laitiers et fromagers : adaptation, développement et appropriation des méthodes omiques à des fins d'écologie microbienne (2019-2022) ») <https://www.rmtfromagesdeterroirs.com/projets-de-r-et-d/adamos/> et notamment les diaporamas (en ligne) des présentations données lors du séminaire final, en avril 2023, « Introduction aux écosystèmes laitiers » (Sarah Chuzeville et Nadège Bel, ACTALIA) et « Présentation des méthodes méta-omiques » (Eric Dugat-Bony, INRAE Sayfood).

39. « A characteristic microbial community occupying a reasonably well-defined habitat which has distinct physico-chemical properties », p. 176.

40. « The ecological community of commensal, symbiotic, and pathogenic microorganisms that literally share our body space and have been all but ignored as determinants of health and diseases ».

41. C'est dans ce laboratoire qu'Amber Benezra a mené son travail ethnographique ; Gordon est d'ailleurs cosignataire de l'article programmatique « Anthropology of microbes » (Benezra *et al.*, 2012).

42. La revue *Microbiome* est créée en 2013, tout comme l'*International Society for Microbiota*. Le *Microbiome Research Stakeholder Workshop* de la *Society for microbiology* est créée en 2016 (<https://microbiologysociety.org/our-work/the-microbiome/microbiome-expert-working-group-workshops.html>, [consulté le 19 décembre 2023]).

43. On trouve une trace des débats que suscite l'usage du terme microbiote dans les réactions à un billet de blog de la Société française d'écologie et d'évolution : « Dans les néologismes forgés et utilisés depuis le XIXe siècle, les termes en *...ote* désignent des objets biologiques individualisés (zygote, mastigote, symbiote, progénote...) tandis que le suffixe *...ome* s'applique à des ensembles d'objets possédant certaines caractéristiques communes (génome, biome, transcriptome...).

L'ensemble des microbes (ou microorganismes) présents à un emplacement donné (par exemple dans la rhizosphère des plantes) constitue un microbiome (voir d'ailleurs le titre de la revue éponyme internationale *Microbiome* qui s'intéresse à tous les aspects de la biologie des communautés de microorganismes et pas seulement à leurs génomes) et non un microbiote. [...] On peut d'ailleurs penser que cette volonté « d'individualiser » le microbiome en utilisant le terme microbiote correspond à une tentative de créer un nouveau paradigme : celui de l'autonomie réelle ou supposée d'une entité réagissant presque comme si c'était un organisme à part entière, donc un « ...ote », tel que cela transparaît par exemple dans l'image à laquelle vous faites référence du « deuxième cerveau » chez les vertébrés » (<https://sfecologie.org/regard/r105-sept-2022-m-duru-et-al-microbiotes/> [consulté le 15 juillet 2024]).

44. <https://anr.fr/fileadmin/aap/2023/France2030-PEPR-SAMS-AAP-2023-22112023.pdf> [consulté le 15 juillet 2024]. Nous soulignons.

45. Nous pouvons citer par exemple l'« effet de barrière microbienne », qui fait référence au rôle protecteur des communautés microbiennes résidentes contre l'invasion et la colonisation par des micro-organismes pathogènes. Ce concept a été mis en avant par les microbiologistes Pierre Raibaud et Robert Ducluzeau, dans leur *Écologie microbienne du tube digestif : ces microbes qui nous protègent* (Ducluzeau & Raibaud, 1979).

46. Un échange avec Daniel Raichvarg nous a inspiré ce paragraphe.

47. Latour n'a pas fait autre chose, lorsque dans les années 2010, il a fini par délaisser Pasteur et les microbes pour s'intéresser aux tentatives d'instauration d'une nouvelle puissance d'agir, Gaïa !

## RÉSUMÉS

Pour son ouvrage *Microbes : guerre et paix*, Bruno Latour est souvent cité comme une référence séminale par les chercheurs en sciences humaines et sociales plaçant au centre de leur recherche les relations entre les humains et les « microbes ». Ces recherches ont connu un essor particulier dans les années 2010 dans le sillage des ethnographies multiespèces. Cet article diagnostique plusieurs écueils fréquents dans cette littérature (vision dualiste, généalogie fantasmée, essentialisation des « microbes »), qui semblent être antagonistes avec les travaux de Latour sur Pasteur. L'article avance une interprétation : au tournant des années 2000, les préoccupations de Latour se sont déplacées de l'analyse de la construction des faits scientifiques vers l'élaboration de propositions relevant de l'écologie politique, conduisant à un relatif oubli par les jeunes générations du Latour philosophe des sciences. Relire le premier Latour nous apparaît utile pour comprendre les transformations contemporaines des rapports aux microorganismes, ainsi que nous le montrent les deux cas que nous explorons (transformations de la microbiologie fromagère en France, émergence des études sur le microbiome).

*The Pasteurisation of France* by Bruno Latour is frequently cited as a seminal reference by scholars in the humanities and social sciences who center their research on the relationships between humans and “microbes.” This area of research saw significant growth in the 2010s, spurred by the rise of multispecies ethnographies. This article identifies several common pitfalls in this body of work—such as dualistic thinking, imagined genealogies, and the essentialization of “microbes”—that seem to conflict with Latour’s work on Pasteur. The article offers an interpretation: around the early 2000s, Latour’s focus shifted from analyzing the construction of

scientific facts to formulating proposals related to political ecology, leading to a relative neglect of Latour the philosopher of science by younger generations. Revisiting Latour's early work proves valuable for understanding contemporary shifts in our relationships with microorganisms, as demonstrated by the two cases we examine (the transformations in French cheese microbiology and the emergence of microbiome studies).

El libro de Bruno Latour *Microbes: guerre et paix* es citado a menudo como una referencia fundamental por los investigadores de ciencias humanas y sociales que centran su investigación en las relaciones entre los seres humanos y los «microbios». Esta investigación ha experimentado un auge particular en la década de 2010 a raíz de las etnografías multispecíficas. Este artículo identifica varios escollos comunes en esta literatura (visión dualista, genealogía fantaseada, esencialización de los «microbios»), que parecen contradecir la obra de Latour sobre Pasteur. El artículo propone una interpretación: a principios de los años 2000, las preocupaciones de Latour pasaron del análisis de la construcción de los hechos científicos a la elaboración de propuestas relativas a la ecología política, lo que condujo a un relativo olvido de Latour como filósofo de la ciencia por parte de las generaciones más jóvenes. Revisitar la obra temprana de Latour resulta útil para comprender las transformaciones contemporáneas en nuestras relaciones con los microorganismos, como lo demuestran los dos casos que exploramos (las transformaciones en la microbiología de los quesos en Francia y la emergencia de los estudios sobre el microbioma).

*Microbes: guerre et paix* von Bruno Latour wird häufig von Forschern in den Geistes- und Sozialwissenschaften als wegweisende Referenz zitiert, die ihre Forschung auf die Beziehungen zwischen Menschen und „Mikroben“ konzentrieren. Diese Forschung erlebte insbesondere in den 2010er Jahren einen Aufschwung im Zuge der Multispezies-Ethnographien. Dieser Artikel diagnostiziert mehrere häufige Fallstricke in dieser Literatur (dualistische Sichtweisen, imaginierte Genealogien, Essentialisierung der „Mikroben“), die im Widerspruch zu Latours Arbeiten über Pasteur zu stehen scheinen. Der Artikel schlägt folgende Interpretation vor: Um die Jahrtausendwende verschob sich Latours Interesse von der Analyse der Konstruktion wissenschaftlicher Fakten hin zur Entwicklung von Konzepten der politischen Ökologie, was dazu führte, dass die jüngeren Generationen Latour als Wissenschaftsphilosophen weitgehend aus den Augen verloren. Eine erneute Beschäftigung mit dem frühen Latour erscheint uns hilfreich, um die gegenwärtigen Veränderungen in den Beziehungen zu Mikroorganismen besser zu verstehen, wie es die beiden von uns untersuchten Fälle zeigen (die Veränderungen in der französischen Käsemikrobiologie und das Aufkommen der Mikrobiomforschung).

## INDEX

**Keywords :** Latour (Bruno), social studies of microbes, multispecies ethnography, microbial turn, microbiology, microbiome

**Palabras claves :** Latour (Bruno), estudios sociales de los microbios, etnografía multispecie, giro microbiano, microbiología, microbioma

**Mots-clés :** Latour (Bruno), études sociales des microbes, ethnographie multiespèces, tournant microbien, microbiologie, microbiome

**Schlüsselwörter :** Latour (Bruno), soziale Studien über Mikroben, Multispezies-Ethnographien, mikrobieller Wandel, Mikrobiologie, Mikrobiom

## AUTEURS

### ÉLISE DEMEULENAERE

Chargée de recherche au CNRS, Élise Demeulenaere s'inscrit dans une anthropologie environnementale ancrée dans les *science studies*. Elle développe cette approche sur différents terrains en France (semences paysannes, savoirs de l'agroécologie, transformations du monde du fromage au lait cru). D'abord rattachée à l'UMR Eco-anthropologie, elle est depuis 2019 au Centre Alexandre-Koyré d'Histoire des sciences et des techniques.

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6467-2488>

Adresse : Centre Alexandre-Koyré (CNRS-EHESS-MNHN), Campus Condorcet / EHESS, 2 cours des Humanités, FR-93322 Aubervilliers cedex (France).

Courriel : [elise.demeulenaere\[at\]cnrs.fr](mailto:elise.demeulenaere[at]cnrs.fr)

### SYLVAIN LALLIER

Doctorant à l'Université Paris Cité, rattaché au Centre de recherche Médecine, Science, Santé, Santé mentale et Société (Cermes3) et au Centre Alexandre-Koyré (Cak). Il s'intéresse aux conditions d'émergence des recherches sur le microbiote en France, et à la diversité des pratiques scientifiques inscrites dans ce domaine. Par une double enquête – historique et ethnographique – il cherche à comprendre les dynamiques scientifiques, à l'articulation entre cultures épistémiques, évolutions technologiques et politiques institutionnelles.

ORCID : <https://orcid.org/0009-0009-3620-0796>

Adresse : Cermes3, Campus CNRS 7, rue Guy Môquet - BP 8, FR-94801 Villejuif cedex (France).

Courriel : [sylvain.lallier\[at\]u-paris.fr](mailto:sylvain.lallier[at]u-paris.fr)