



CHARLOTTE  
**BRIVES**

# PLURIBIOSE

Travailler avec les microbes



Charlotte Brives

# Pluribiose

## Travailler avec les microbes

Conférence-débat organisée par le groupe Sciences en questions au centre INRAE Île-de-France-Jouy-en-Josas et à distance, le 30 mai 2023.

Éditions Quæ

La collection « Sciences en questions » accueille des textes traitant de questions d'ordre philosophique, épistémologique, anthropologique, sociologique ou éthique, relatives aux sciences et à l'activité scientifique.

Directeurs de collection : Raphaël Larrère, Catherine Donnars.

Le groupe de travail Sciences en questions a été constitué à l'Inra en 1994 — devenu INRAE — à l'initiative des services chargés de la formation et de la communication. Son objectif est de favoriser une réflexion critique sur la recherche par des contributions propres à éclairer, sous une forme accessible et attrayante, les questions philosophiques, sociologiques et épistémologiques relatives à l'activité scientifique.

Texte revu avec la collaboration de Marie-Noëlle Heinrich et Laurence Guilloteau.

Les versions électroniques de cet ouvrage sont diffusées sous licence  
Creative Commons CC-by-NC-ND 4.0.  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/fr/>

Éditions Quæ  
RD 10, 78026 Versailles Cedex  
France

© éditions Quæ, 2024

ISBN papier : 978-2-7592-3881-1  
ISBN PDF : 978-2-7592-3882-8  
ISBN ePub : 978-2-7592-3883-5

ISSN : 1269-8490

# Table des matières

<b>Préface</b>	<b>5</b>
<b>Pluribiose - Travailler avec les microbes</b>	<b>9</b>
Introduction	9
Antibiotiques, plantations et Capitalocène : mettre les microbes au travail	14
Pluribiose, microgéo-histoires et collection : ce que travailler avec les microbes requiert	32
Conclusion	52
<b>Discussion</b>	<b>61</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>71</b>



# Préface

Nous vivons en interaction permanente et intime avec le monde microbien des bactéries, virus, parasites et autres entités microscopiques. La récente pandémie virale nous a confrontés à cette évidence. Nous hébergeons des micro-organismes qui constituent nos microbiotes (environ 1 à 2 kg de microbes dans l'intestin d'un humain adulte par exemple), et plus globalement l'ensemble forme une entité vivante nommée holobionte. L'étude des microbiotes et des relations avec leurs hôtes (humain, animal ou plante) suscite un essor considérable de connaissances scientifiques. L'institut de recherche INRAE a notamment lancé en 2019 un programme transversal, HOLOFLUX, qui vise à étudier les interactions entre hôtes et micro-organismes, et les flux microbiens qui les traversent dans l'ensemble du système agroalimentaire. C'est à la suite de l'un des séminaires organisés par Claire Harpet et Jean-Philippe Pierron à l'université de Lyon portant sur la problématique de l'antibiorésistance en élevage, dont le sous-titre « de la crise sanitaire à la transition écologique » était prometteur, que Raphaël Larrère a évoqué l'idée d'organiser une conférence Sciences en questions sur les phages. Enthousiastes, nous avons décidé de proposer un cycle de conférences sur les microbes qui démarre par une première conférence sur les phages.

Les phages, virus de bactéries, ont été utilisés dès la fin des années 1910 pour maîtriser les maladies infectieuses bactériennes des humains. La phagothérapie a sombré dans l'oubli dans les années 1950 au profit de l'antibiothérapie largement utilisée en médecine humaine et vétérinaire. La généralisation de l'utilisation des antibiotiques s'est traduite par le développement de souches de bactéries résistantes aux antibiotiques. L'antibiorésistance représente aujourd'hui un risque sanitaire majeur tant pour la santé des humains que pour celle des animaux en élevage. C'est ainsi que la phagothérapie a

retrouvé un intérêt, parmi d'autres stratégies, pour réduire l'utilisation des antibiotiques.

L'objet de cette conférence n'est pas, ou en tout cas pas seulement, de resituer l'émergence de l'antibiorésistance et des solutions pour y remédier. Il aborde sous un angle plus large notre rapport aux micro-organismes, à leur mise au travail — au sens de leur exploitation — au service de la connaissance comme outils de laboratoire ou à des fins biomédicales ou technologiques. Il s'agit de poser un pas de côté pour interroger notre rapport d'Occidentaux aux êtres vivants, en l'occurrence microbiens. Pour parler de la nature fondamentalement relationnelle et évolutive de ces entités biologiques en lien avec les sociétés humaines, nous avons invité une anthropologue des sciences et de la santé : Charlotte Brives, spécialiste des relations entre les humains et les micro-organismes, en particulier des virus et des bactéries.

Charlotte, pour resituer ton parcours, il a débuté par une licence de biologie qui a révélé ton intérêt pour la virologie mais pas pour t'engager dans une activité de recherche au laboratoire. Tu as choisi la voie de l'anthropologie des sciences. Ta thèse de doctorat a porté sur l'anthropologie des relations entre les humains et non-humains, en l'occurrence entre chercheurs et levures au sein d'un laboratoire de biologie à l'université de Bordeaux, et à comprendre comment on produit des connaissances avec des micro-organismes. La rencontre avec les virus s'est faite ensuite au cours d'un post-doctorat sur le VIH, pendant lequel tu as poursuivi ton questionnement sur la production des données dans les essais cliniques ayant une dimension de santé publique et de politique de santé. Tu as intégré le CNRS, en tant qu'anthropologue des sciences et de la santé au Centre Émile Durkheim de Bordeaux, où tu mènes un programme de recherche sur les relations entre les humains et les virus. C'est à ce moment-là que tu as fait la rencontre avec les phages. Tu disposes alors d'une plus grande liberté, en tant qu'anthropologue, pour revisiter les relations avec les virus et interroger la dimension de soin

avec les phages et ses conséquences. Tu as notamment à cœur de positionner l'usage des phages dans une perspective d'accès à tous, sans reproduire les conséquences sanitaires et écologiques de l'antibiorésistance. Ta réflexion s'inspire de Bruno Latour, sociologue et philosophe des sciences, qui t'a accompagnée depuis ta thèse jusqu'à la soutenance récente de ton habilitation à diriger des recherches (HDR) et la publication de ton ouvrage *Face à l'antibiorésistance. Une écologie politique des microbes*, qu'il a préfacé en 2022 peu avant son décès. Ta réflexion s'inscrit aussi dans la lignée de femmes théoriciennes en épistémologie féministe qui ont apporté des regards différents sur la production des savoirs, comme Isabelle Stengers (1993), philosophe qui a questionné la place de la science (notamment expérimentale) dans son ouvrage *L'invention des sciences modernes*. Je citerai également Sophie Houdart, anthropologue inspirante à la fois scientifiquement et humainement pour toi, et qui a analysé la vie d'un laboratoire de biologie au Japon puis lors de la catastrophe de Fukushima. Ou encore Donna Haraway et Sandra Harding, philosophes toutes deux qui ont développé la notion de savoirs situés. Ces différents éclairages ont nourri ta réflexion dont émerge une nouvelle notion, la « pluribiose », que tu définis comme « l'ensemble des spectres de relations plurielles entre des entités comme les virus et les bactéries toujours en devenir, travaillées, transformées par leurs rencontres avec d'autres vivants et des géohistoires qu'ils engendrent ». La pluribiose s'inscrit donc dans des biologies situées, incarnées dans des espaces et une temporalité qui, de fait, ne permettent pas d'appliquer des solutions universelles.

Comment ainsi envisager les relations des humains avec ces entités pluribiotiques ? Comment tenter de contrôler ou de travailler avec les microbes en prenant le risque d'engendrer des conséquences imprévisibles ?

Tu nous proposes de revenir au laboratoire, de rendre visible le soin constant apporté aux micro-organismes pour créer des collections de souches, de pouvoir apprendre d'eux, ou

avec eux. Comme tu nous y invites, nous allons dans cette conférence imaginer la façon de penser le travail avec les microbes en incluant les dimensions éthique et politique de leurs utilisations.

Le groupe Sciences en questions te remercie d'ouvrir ce cycle de conférences sur les microbes.

*Laurence Guilloteau,  
chercheuse INRAE,  
membre du groupe Sciences en questions*

# Pluribiose

## Travailler avec les microbes

### Introduction

Quand on pense microbes, on pense souvent virus, maladie, sécurité. Mais on ne pense peut-être pas (ou pas suffisamment souvent) qu'une entrée par les relations qu'entretiennent humains et microbes peut permettre de comprendre de nombreux aspects des sociétés dans lesquelles nous vivons, depuis la production des savoirs jusqu'à certaines incarnations de l'industrialisme tel qu'il s'est intensifié depuis 1945. Le sujet serait trop technique, trop circonscrit à quelques disciplines et quelques secteurs. Si le Covid (et avant lui toute une ribambelle de microbes pathogènes<sup>1</sup>) a rappelé comment nous ne pouvons plus nous passer de réflexions sérieuses sur ces entités invisibles à l'œil nu, c'est par un prisme totalement différent que j'entends aborder la question. Mon propos est d'explorer la façon dont les humains se servent des microbes, dont ils les mettent au travail dans leurs différents projets. Et, ce faisant, de montrer comment une attention soutenue à ce que font ces créatures participe à une meilleure compréhension des sociétés humaines, mais aussi à une appréhension toujours « située » des désastres écologiques auxquels les humains doivent désormais faire face. L'utilisation des compétences des micro-organismes est indissociable de l'histoire des sociétés humaines : pour ne citer qu'un exemple, les produits fermentés sont à la base de la subsistance de nombreuses, voire de toutes les communautés humaines (Sélosse, 2017). Cependant, l'industrialisation

---

1 Au premier rang desquels le VIH, qui a conduit à de très nombreuses reconfigurations à des échelles diverses, depuis l'intimité des corps et des rencontres jusqu'aux politiques de santé globale, en passant par la transformation du militantisme et de l'activisme ou les pratiques de soin pour ne citer que ces exemples. Des savoirs et des expériences sur lesquels il aurait été possible de davantage s'appuyer dès les débuts de la pandémie de Sars-Cov-2 (Brives, 2020).

et l'évolution des connaissances microbiologiques, des technologies disponibles et des modes de production et de consommation, ont accentué l'intensité et la massification de ces utilisations.

Au cours des dernières décennies, le rôle des microbes dans de nombreux écosystèmes, des intestins des humains aux cycles biogéochimiques, en passant par les forêts et les océans, a été reconnu comme jamais il ne l'avait été auparavant (Helmreich, 2008). Les dichotomies habituelles que les humains utilisent pour penser aux microbes (et plus généralement aux autres êtres vivants), entre amis et ennemis, individus et communautés, commencent à s'effondrer (Paxson et Helmreich, 2014 ; Lorimer, 2020 ; Brives, 2022). Les microbes sont partout, avec des rôles et des fonctions difficiles à imaginer et à étudier.

Leur étude a entraîné de profonds changements conceptuels, tant dans la production de connaissances en biologie (Margulis, 1964 ; O'Malley, 2014), que dans leur utilisation possible au profit des humains, que ce soit dans le domaine de la santé, de l'agriculture ou de l'industrie. Ils sont désormais considérés comme essentiels au développement et au maintien des macro-organismes, entretenant avec eux des relations symbiotiques et codépendantes. Les organismes ne sont à leur tour plus considérés comme des entités individuelles mais comme des complexes multispécifiques et symbiotiques<sup>2</sup> (Gilbert *et al.*, 2012). Cette redéfinition des écosystèmes, des organismes et de leurs composantes s'accompagne d'une reconsidération des écologies, des états de santé et des étiologies de nombreuses pathologies, qui sont désormais envisagées sous l'angle de l'équilibre ou de

---

2 Il est difficile de rendre pleinement justice aux travaux et à la ténacité de la biologiste Lynn Margulis, qui a dû attendre plusieurs décennies avant de voir sa théorie endosymbiotique largement acceptée par la communauté scientifique. Pour une vue d'ensemble de la pensée de Margulis, voir Margulis et Sagan (2002).

la perturbation, même si les mécanismes en jeu ne sont pas encore élucidés.

Les microbes sont partout, et sont ainsi progressivement devenus des médiateurs permettant d'élaborer des réponses aux problèmes rencontrés par les humains, qu'ils soient scientifiques, techniques, écologiques ou médicaux. L'exploitation de leurs potentialités se retrouve alors au cœur d'un nombre croissant de projets, depuis la production de nouvelles molécules qui pourraient remplacer les carburants fossiles jusqu'à la possibilité que les microbes métabolisent les polluants toujours plus nombreux générés par les activités humaines, comme les plastiques par exemple.

Les microbes sont souvent présentés, dans les projets scientifiques, mais aussi dans la presse grand public, comme de « petites usines », que l'on pourrait optimiser, customiser à coup de *gene editing*<sup>3</sup>, pour leur faire produire à peu près tout ce que les humains pourraient imaginer.

Les *Science and technology studies*, domaine de recherche interdisciplinaire qui analyse les sciences et les techniques, à partir des années 1970, fournissent des études très riches montrant comment les compétences des êtres vivants ont été captées, détournées, utilisées au travers d'agencements variés, à des fins très diverses. La sociologue Melinda Cooper (2008) a analysé comment la biologie, que ce soit au travers des technologies de modification moléculaire de l'ADN ou des cellules souches, en passant par les pratiques de l'industrie pharmaceutique, s'est trouvée transformée en valeur ajoutée, avec la constitution de ce qu'on peut nommer des bioéconomies et des formes multiples de biocapital. Dans cette histoire, les micro-organismes — notamment les virus

---

3 Le *gene editing*, ou édition du génome, permet d'effectuer des modifications génétiques ciblées dans tout type de cellules, grâce notamment aux « ciseaux moléculaires », un procédé mis au point en utilisant les compétences relationnelles des virus bactériophages et des bactéries.

bactériophages, les bactéries, les levures — ont joué un rôle majeur<sup>4</sup>.

Mais les relations entre humains et microbes sont ambivalentes. Cette ambivalence se traduit par des choix politiques et par l'établissement de propositions et de normes spécifiques pour gérer les risques inhérents à l'utilisation des microbes dans les activités humaines. Paxson (2008) utilise le terme « microbiopolitique » pour rendre compte du rôle de la sécurité alimentaire, des réglementations en matière d'hygiène et de la gouvernance dans les actions quotidiennes, ainsi que des valeurs morales qui les sous-tendent dans la production de fromage.

Dans cet ouvrage, je souhaite m'appuyer sur les différents travaux que j'ai menés, d'abord sur la levure *Saccharomyces cerevisiae*, ensuite sur les virus bactériophages, pour poser les bases d'une réflexion interdisciplinaire et ouverte, au-delà de la sphère universitaire, sur ces médiations microbiennes, et sur ce qu'impliquent ces « mises au travail » des microbes dans les projets des humains.

Cette réflexion est d'autant plus nécessaire que nous vivons *Au temps des catastrophes* (Stengers, 2009), et subissons, sous des incarnations différentes mais qui reconduisent, voire accentuent les inégalités sociales, raciales et de genre, ce que la philosophe des sciences Isabelle Stengers nomme « l'intrusion de Gaïa » : désastres liés au réchauffement climatique, comme l'ouragan Katrina, crises écologiques ou encore effondrement de la biodiversité. La proposition de la philosophe est forte et prescriptive : il s'agit de produire des réponses qui ne viendront pas alimenter les désastres en cours ; des réponses qui soient tout autant attentives aux causes de l'intrusion qu'à ses conséquences.

---

4 Comme le souligne Stefan Helmreich, « le processus biologique lui-même constitue déjà une forme de production de plus-value » (2008, p. 293).

Il y a ainsi une urgence à repenser les écologies politiques et les projets qui visent à prendre soin des écosystèmes abîmés, mais celle-ci nous oblige à ralentir et à être réflexifs, à penser les types de médiations mobilisées, tout autant que le contexte et le milieu dans lesquels ces mobilisations s'incarnent.

Je prendrai comme point de départ de cette réflexion la production et l'utilisation des antibiotiques dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle. Il me semble important de revenir sur cette histoire parce qu'elle est édifiante à plus d'un titre, notamment pour comprendre en partie le développement des sociétés post-Seconde Guerre mondiale et le type de rapports qu'elles ont exercé sur les êtres vivants, et en particulier les microbes. Je montrerai comment la façon dont les humains ont mis au travail les microbes s'inscrit dans une histoire plus longue de rapports des humains aux êtres vivants humains et non humains ; laquelle prend racine dans le xvi<sup>e</sup> siècle et dans un mouvement d'extériorisation de la nature, rejoignant ainsi les travaux de nombre de chercheuses et de chercheurs, parmi lesquels Jason Moore, Anna Tsing et Bruno Latour.

Je retracerai brièvement la façon dont cette histoire a conduit à la montée en puissance de l'antibiorésistance et à une remise en question de nos conditions même de survie dans les prochaines décennies.

À rebours des conceptualisations des êtres vivants qui ont mené à l'industrialisation des antibiotiques et au développement des microbes comme de « petites usines », je proposerai, dans la seconde partie, de revenir sur le quotidien des pratiques de laboratoire, et notamment sur le travail nécessaire à la constitution des collections (ou banques) de micro-organismes. Ces collections constituent à la fois le fondement et le résultat des recherches sur les microbes : elles sont centrales tant pour la production des faits que pour la reproduction des faits dans d'autres lieux et en d'autres temps. Elles sont tout aussi indispensables pour les projets des humains en dehors des laboratoires, que ce soit dans les

pratiques de fermentation, dans la production de nouvelles molécules ou de thérapies. Cet exercice de description ethnographique me conduira à mettre en évidence de tout autres conceptualisations des relations entre humains et microbes, qui s'apparentent moins à des « mises au travail » qu'à un travail avec les microbes, un travail multispécifique, qui nous engage, toutes et tous, en tant que scientifiques, si nous ne voulons pas produire des réponses qui contribuent aux désastres en cours.

## Antibiotiques, plantations et Capitalocène : mettre les microbes au travail

### *Développement des antibiotiques*

Revenons donc brièvement sur l'histoire des antibiotiques et les transformations radicales que ces molécules chimiques ont permises. La pénicilline inaugure l'ère des *wonder drugs*, des médicaments miracles. Si sa découverte date de 1928, sa production est suffisante pour traiter l'armée américaine en 1944 et la rendre disponible dans les hôpitaux des États-Unis l'année suivante. L'introduction de la pénicilline, rejointe deux ans plus tard par la streptomycine, conduit très rapidement à une réduction drastique de la mortalité, en permettant notamment le traitement des septicémies et des pneumonies. Les antibiotiques participent également à l'amélioration sensible des conditions sanitaires des grossesses en permettant de traiter la syphilis congénitale, responsable de nombreuses fausses-couches et de malformations, mais aussi la gonorrhée (Bud, 2007).

En quelques années, l'introduction de ces molécules chimiques transforme durablement la santé humaine, pour le meilleur, comme nous l'avons vu, mais aussi parfois pour le pire. En raison de leur très grande efficacité et de leur (relative) facilité de production, de stockage et d'utilisation, les antibiotiques deviennent en peu de temps le traitement de

référence en infectiologie. Ils contribuent d'abord à faire de l'éradication de la bactérie pathogène le critère de jugement principal pour une guérison, et donc le but à atteindre, parfois au détriment d'autres considérations concernant le bien-être de la personne traitée<sup>5</sup>. En second lieu, cette période de développement des antibiotiques provoque une mutation importante de l'industrie pharmaceutique, faisant des médicaments des biens de consommation comme les autres. Les techniques marketing sont développées, les encarts publicitaires dans les journaux médicaux deviennent fréquents, y compris pour vanter des combinaisons médicamenteuses à doses fixes d'antibiotiques, bien qu'aucune étude sur les bénéfices réels de tels mélanges n'ait été menée. Entre 1950 et 1956, la consommation d'antibiotiques aux États-Unis passe ainsi de 139,8 à 645,2 tonnes, faisant d'eux la classe de médicaments la plus prescrite. C'est pour pallier ces abus qu'une commission sénatoriale se réunit à la fin des années 1950 et aboutit en 1962 à la promulgation des amendements Kefauver-Harris rendant obligatoires les preuves d'efficacité des nouveaux traitements, par la réalisation d'essais cliniques randomisés, avant toute mise sur le marché, participant ainsi à l'élargissement de la « médecine des preuves », l'*evidence-based medicine* (Brives *et al.*, 2016).

Parallèlement, dès 1943, la pénicilline fait son entrée dans certaines exploitations agricoles (en Angleterre, puis au Danemark), où elle permet notamment de traiter les mammites bovines et ainsi de préserver la qualité du lait, particulièrement importante en temps de guerre. Aux États-Unis, la médication de masse des cheptels se développe rapidement en partie grâce à la production rapide de nouveaux antibiotiques, qui permettent de réduire les risques de maladies et

---

5 Les antibiotiques présentent un certain nombre d'effets secondaires, variables en fonction des molécules considérées. Leur métabolisation par le foie ou les reins peut créer des dommages sur ces organes. Leur spectre d'action relativement large implique également la destruction d'une partie des bactéries du microbiote intestinal et/ou vaginal, causant des troubles temporaires dont de nombreuses personnes ont fait l'expérience.

donc aussi de diminuer les coûts de main d'œuvre nécessaire au soin des animaux malades<sup>6</sup>.

Les usages des antibiotiques en élevage ne sont pas restés thérapeutiques et prophylactiques. Dès la fin des années 1940, l'adjonction d'antibiotiques aux aliments à destination des volailles est autorisée dans le but initial de prévenir l'apparition d'épidémies. La nourriture contenait déjà, entre autres, des vitamines, des traces de métaux comme le manganèse et le cuivre, des promoteurs de croissance comme les médicaments à base d'arsenic, de l'urée, certains acides aminés essentiels, mais aussi de l'oxyde de magnésium ou de l'acide butyrique pour inciter les animaux à manger. La production d'aliments supplémentés faisait en effet alors l'objet d'intenses recherches et d'allers-retours constants entre milieux académiques et industriels. L'attention extrême portée au rôle de l'alimentation dans l'augmentation des performances des animaux d'élevage a permis à des chercheurs d'une firme pharmaceutique de découvrir l'effet non négligeable de l'auréomycine faiblement dosée sur la croissance des animaux d'élevage (Landecker, 2021). Les antibiotiques sont alors devenus également des promoteurs de croissance.

Les antibiotiques semblent ainsi présenter une solution efficace et facile à une diversité de problèmes qu'il s'agisse de thérapie, de prophylaxie ou de performances zootechniques. Devant les possibilités d'une manne sans fin, les industriels produisent de nouveaux antibiotiques et développent d'autres usages, notamment dans la préservation et la conservation des aliments. À la fin des années 1950, jusqu'à 50 % des porcs britanniques sont nourris avec ces aliments supplémentés ; des sprays à base de streptomycine servent à traiter les infections bactériennes chez les arbres fruitiers ; les antibiotiques sont utilisés en Norvège pour conserver la viande de baleine. Au Japon, les antibiotiques trouvent également leur chemin,

---

6 Pour une histoire de l'utilisation des antibiotiques dans l'élevage, voir Kirchelle (2020).

tant dans les élevages que dans les fermes piscicoles, mais aussi, à partir du début des années 1960, dans les rizières.

L'exportation du modèle agricole industriel des États-Unis et de ses infrastructures de production, en Europe, en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie du Sud-Est a contribué aux volumes toujours grandissants d'antibiotiques produits et consommés dans le monde. La production animale intensive a connu une expansion spectaculaire. Pour donner quelques exemples, entre 1968 et 1998, la production brésilienne de poulets a été multipliée par 20. En Chine, l'introduction de politiques économiques libérales, à partir des années 1980, a conduit à l'implantation de sociétés américaines et thaïlandaises et à l'augmentation du nombre d'exploitations avicoles intensives. Dans les années 2000, c'est le secteur porcin qui a connu une croissance sans précédent, la Chine produisant en 2008 quatre fois plus de porcs que les États-Unis.

Pour résumer, au tournant du XXI<sup>e</sup> siècle, ce sont des milliers de tonnes d'antibiotiques qui sont utilisés pour nourrir ou traiter chaque année les animaux destinés à l'alimentation, soit un demi-milliard de porcs, 36 millions de bovins et 70 milliards de volailles.

Ces transformations ne sont pas allées, comme nous le verrons, sans la transformation des organismes eux-mêmes, sans la sélection et la transformation des animaux d'élevage pour les ajuster à ces modes de production toujours plus massifs.

### *Remplacement dans l'histoire longue*

L'histoire des antibiotiques peut aussi être lue dans l'histoire plus longue des relations des humains à leurs milieux de vie et à la façon dont ils ont travaillé avec les êtres vivants non humains.

Les travaux d'Anna Tsing (2022) d'un côté et de Jason Moore (2017, 2018) de l'autre, sont ici très précieux. Les

deux postulent que la transition du féodalisme au capitalisme marque un changement majeur dans les types de relations que les Occidentaux entretiennent aux êtres vivants (soutenant d'ailleurs que l'un ne va pas sans l'autre). De nombreux auteurs et autrices font du long XVI<sup>e</sup> siècle le moment historique du geste fondateur de la modernité. Un geste d'extériorisation de la nature, de grand partage entre nature et culture. Ce geste définit l'Humanité — avec un grand H —, mais recouvre dans le même temps un geste d'exclusion extrêmement fort qui met en place des systèmes de classification, des hiérarchies, des taxonomies, qui sont tout sauf innocentes. Quand on classe et que l'on ordonne, quand on fait des listes, des choix, on inclut, et donc on exclut. On valorise et donc on néglige. On rend sensible et on insensibilise. Le geste d'extériorisation de la nature est également un geste d'invisibilisation, d'insensibilisation, et un laisser-passer pour l'exploitation. Dans la nature pourront être placés non seulement les êtres vivants non humains, mais aussi les personnes racisées, les femmes et les enfants. Les écoféministes étudient depuis longtemps les conséquences des assimilations femme/nature (Merchant, 2021 ; Hache, 2016). Les études décoloniales d'Amérique du Sud font de ce geste et de ce moment (plus précisément de la « découverte » des Amériques par Christophe Colomb) le point de départ de la colonialité<sup>7</sup>. Si les systèmes de domination multiples sont bien antérieurs aux Temps modernes, et si leurs conséquences diffèrent en fonction des contextes, le long XVI<sup>e</sup> siècle instaure ainsi une série de reconfigurations importantes.

L'originalité des pensées de Tsing et de Moore réside dans la compréhension écologique qu'ils en proposent tous deux. L'un et l'autre font en effet de la plantation le point nodal pour saisir les transformations qui ont cours à cette époque. Le système de la plantation, dont l'exemple paradigmatique est celui de la canne à sucre, repose sur l'exploitation

---

7 Pour une introduction aux études décoloniales, voir Colin et Quiroz (2023).

ordonnée, systématique et standardisée de la production et de la reproduction des espèces qui y sont cultivées, tout comme des humains qui y travaillent. Je ne reviens pas ici sur l'esclavagisme (voir Ferdinand, 2019), même si, lorsque l'on se penche sur les non-humains, il ne faut jamais perdre de vue, ne serait-ce qu'un instant, le sort réservé aux humains.

La forme d'exploitation propre à la plantation passe entre autres par la réduction voire la suppression des interactions jugées indésirables avec d'autres espèces que celles cultivées, ce qui implique le plus souvent d'extraire les espèces cultivées de leur milieu habituel de vie (ce qui a été fait pour la canne à sucre). En ce sens, la plantation ne peut être conceptualisée et effective sans l'éradication des espèces et des relations considérées comme nuisibles au projet d'une part, et l'exploitation des êtres qui constituent la plantation d'autre part. Le système même de la plantation n'est possible que dans le cadre d'un rapport au monde qui fait primer l'individu sur les relations qu'il entretient avec son milieu. Cette conception de la vie implique que l'on puisse penser un individu parfaitement isolé.

Anna Tsing (2022, p. 44) a proposé d'étendre le terme de plantation pour décrire tous « les systèmes d'écologies simplifiées conçues pour créer des actifs marchands en vue d'investissements futurs ». Parce que de telles écologies simplifiées prévalent dans les sociétés occidentales, Tsing, en compagnie de la philosophe et biologiste Donna Haraway et du biologiste Scott Gilbert (2015), ont proposé le terme de Plantationocène pour caractériser la période où prédomine ce type d'écologie qui repose sur une simplification outrancière des relations entre êtres vivants. Le Plantationocène, c'est l'ère de la plantation, l'ère des écologies simplifiées.

Cette conception est très proche de celle développée par Jason Moore (2017, 2018), qui préfère quant à lui parler de Capitalocène, posant le capitalisme non pas comme un système économique mais comme un ensemble spécifique de

relations entre les humains et le monde (biotique et abiotique), comme une écologie<sup>8</sup>. Les formes de travail et d'exploitation mises en place dans le système de la plantation reposent sur ce geste d'extériorisation. Même si elles n'ont cessé, au cours des siècles, puis des décennies, d'évoluer au gré des technologies disponibles et des modes de gouvernance.

Dans cette optique de volonté de contrôle des humains, ou devrions-nous dire de certains humains sur d'autres êtres vivants, les plantations sont rapidement devenues des monocultures et l'espèce produite devient le plus souvent clonale dans le cas des végétaux ou à tout le moins hautement standardisée dans le cas des animaux. La sélection des espèces remplit en effet deux objectifs : un meilleur rendement (en sélectionnant par exemple des plants qui donnent des grains plus gros, ou des animaux qui grossissent plus vite) mais aussi la possibilité d'une standardisation du travail mené dans la plantation (par exemple par l'utilisation de machines).

Ces changements qui transforment les modes d'agriculture, la biologie et la physiologie de ces populations, ont pour conséquence leur fragilisation face à l'irruption de micro-organismes pathogènes. La très forte promiscuité des animaux en élevage provoque mécaniquement une accélération de la vitesse de transmission des agents pathogènes. Il n'y a pas de distanciation sociale dans des élevages dans lesquels chaque cm<sup>2</sup> est optimisé. La faible diversité génétique et phénotypique des individus constituant le cheptel accentue encore le risque de maladies, impliquant une réponse proche ou identique lorsque les animaux rencontrent un même agent pathogène. Si un cochon est sensible à une bactérie (ou tout autre agent pathogène), la grande majorité, voire dans les cas extrêmes la quasi-totalité des individus composant le cheptel le sera également. Les antibiotiques, utilisés en préventif ou en curatif, en limitant drastiquement les risques d'infection,

---

8 Voir également Patel et Moore (2018).

permettent d'augmenter la taille, la productivité et la rentabilité des exploitations.

### *Plantations de microbes : mises au travail et exploitation*

Mais revenons sur l'histoire même de la production des antibiotiques. Le début de l'« ère des antibiotiques » a mobilisé des réseaux entiers de scientifiques, des mycologues, des bactériologistes, des spécialistes de la science des sols, pour tenter de trouver des bactéries ou autres micro-organismes capables de synthétiser des molécules aux compétences biocides. L'auroéomycine semble ainsi avoir été extraite d'une bactérie de l'espèce *Streptomyces aureofaciens* provenant d'un champ dans le Missouri. La terramycine, antibiotique phare qui a grandement contribué à la renommée et au développement de Pfizer, aurait quant à elle été extirpée d'une bactérie provenant du site de Terre Haute, dans l'Indiana.

Mais trouver ces molécules antibiotiques ne suffisait pas, encore fallait-il les produire. Et c'est ici que l'histoire des grands hommes, telle que celle que l'on nous serine sur Alexander Fleming, n'est qu'une simplification outrancière d'histoires multispécifiques bien plus complexes. Il faut prendre le temps de défaire le récit autorisé et, en nous appuyant une fois encore sur d'excellents travaux menés en histoire des sciences, en proposer un autre, qui offre de nouvelles prises. Fleming lui-même n'a jamais utilisé la pénicilline dans un cadre thérapeutique. Il s'en servait pour identifier et discriminer des bactéries. L'extraction et la purification de la pénicilline, puis sa production à grande échelle, ont demandé un travail colossal, qui a fait intervenir de nombreuses institutions et équipes de recherche dans plusieurs pays. Il a notamment fallu développer des milieux de culture susceptibles d'accompagner au mieux la croissance des bactéries productrices ; sélectionner certaines d'entre elles pour leur capacité à produire, avec un rendement élevé ; mobiliser et créer des dispositifs, des outils, des machines

spécifiques. Il est intéressant de noter par exemple l'intervention d'une technologie de fermentation en cuve agitée, mise au point en 1929 par une entreprise alors spécialisée dans la production et le raffinage de produits chimiques, et qui n'est autre que la compagnie Pfizer (Bud, 2007 ; Landecker, 2021).

Extraites de leur milieu de vie, optimisées, caractérisées et mises au travail dans les cuves à fermentation de Pfizer, nourries de milieux de culture standardisés, confinées dans des écologies simplifiées à l'extrême, les bactéries, à force de sélection, se sont mises à produire des quantités d'antibiotiques jamais atteintes auparavant sur Terre, à destination d'abord des humains, ensuite des animaux et des végétaux. Le produit de leur travail (les molécules antibiotiques) a ensuite été « délocalisé », envoyé partout dans le monde, utilisé dans de nombreux écosystèmes dans lesquels les bactéries qui les ont produits, et donc ces molécules elles-mêmes, n'avaient pas forcément leur place. Des tonnes d'auréomycine, de streptomycine, de terramycine, de pénicilline, entre autres, ont été déversées sur des cultures, des élevages, dans des corps, de façon à rendre ceux-ci plus productifs et plus rentables : les animaux étaient moins malades, les humains aussi. Les animaux grossissaient plus vite, les humains retournaient au travail plus vite. Notons d'ailleurs que la définition de la santé s'arrêterait dans le cas présent à l'absence d'infection bactérienne, pour les animaux comme pour les humains. La sélection et la standardisation des animaux d'élevage, la vitesse de croissance qui leur est désormais imposée dans les élevages intensifs a en effet pour conséquence que les humains consomment désormais des animaux souffrant de nombreuses pathologies de production et/ou malformations. Et la qualité même des viandes produites a des effets néfastes sur la santé, surtout des populations les plus pauvres.

S'ils sont le plus souvent présentés, pensés, et perçus comme des médicaments, les antibiotiques sont en fait bien plus que cela. Produits dans des plantations de microbes, ils ont permis l'expansion et la création d'autres plantations,

participant d'agencements et d'assemblages variés, centraux en santé humaine, incontournables dans l'agro-industrie<sup>9</sup>. Produits au départ naturellement par les micro-organismes pour médier les relations qu'ils entretiennent entre eux, les antibiotiques ont été détournés, produits en masse et consommés en masse, et ont permis d'augmenter considérablement les échelles auxquelles certains humains exploitent les êtres vivants humains et non humains. Les fermes usines de cochons (Blanchette, 2020), les fermes piscicoles, les élevages de crevettes du Bangladesh, seraient impensables sans les antibiotiques. De tels niveaux de standardisation et d'intensification de la production et de la reproduction des êtres vivants ne pourraient en effet être envisageables sans ces molécules chimiques.

Lorsqu'on les présente comme des médicaments, on occulte ainsi les autres rôles qu'ils occupent dans l'histoire récente. J'ai récemment proposé l'hypothèse selon laquelle ce que les chercheurs de l'Anthropocène nomment la « grande accélération » (McNeill et Engelke, 2014), cette période, qui commence en 1945 et qui est caractérisée par l'augmentation de la proportion d'un certain nombre de marqueurs mesurant l'impact des activités humaines, n'aurait pas été la même sans l'industrialisation des antibiotiques. Il faudrait examiner en détail le(s) rôle(s) qu'ils jouent dans les transformations profondes du capitalisme de la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle et dans les différents diagrammes de la grande accélération, car il est en effet difficile d'imaginer une population en constante augmentation sans prendre en considération la diminution drastique de la mortalité (notamment infantile) permise par les antibiotiques. Difficile de considérer la captation des terres arables, l'augmentation du méthane dans l'atmosphère, ou la consommation d'eau et d'engrais, sans les coupler à

---

9 Si les antibiotiques sont interdits comme promoteurs de croissance au sein de l'Union européenne depuis le début des années 2000, ils sont encore massivement utilisés dans de nombreux élevages intensifs de par le monde (y compris, hélas, en Europe, où la directive européenne de 2006 est encore inégalement appliquée).

l'intensification de l'agriculture permise en grande partie par ces molécules chimiques. Sans parler de l'accroissement des forces productives et reproductives.

Mais l'histoire ne s'arrête évidemment et malheureusement pas là. Au-delà d'avoir transformé les sociétés humaines, ces molécules chimiques ont également contribué à la transformation sans précédent des micro-organismes eux-mêmes. Confrontés au déversement d'antibiotiques dans de très nombreux écosystèmes dans lesquels ils n'avaient pas forcément leur place, du moins pas à ce niveau-là de présence, les micro-organismes se sont adaptés. Au point que des espèces bactériennes de plus en plus nombreuses sont désormais résistantes à la majorité voire à la totalité des antibiotiques disponibles sur le marché.

### *Antibiorésistance et « biologie de l'histoire »*

L'historienne des sciences Hannah Landecker (2021), qui a consacré à l'antibiorésistance un article qui a fait date, parle, pour décrire cette transformation massive des bactéries, de « biologie de l'histoire » : les micro-organismes ont intégré, dans leur biologie même, l'histoire des sociétés humaines et plus particulièrement celle de l'industrialisme d'après 1945. Car c'est la nature même des phénomènes de résistance qui a changé : si pendant des années le primat a été mis sur une conception de l'acquisition de résistance qui se faisait de façon ponctuelle et verticale (par la transmission à la descendance des compétences ainsi acquises), les acquisitions horizontales, par échange de matériel génétique, même entre espèces bactériennes différentes, sont extrêmement fréquentes : les bactéries s'échangent des plasmides, des molécules d'ADN circulaire très résistantes, pouvant porter plusieurs dizaines de gènes codant pour des résistances à des antibiotiques différents. On assiste ainsi à une massification de la transmission. Nous pouvons considérer que ce que portent les bactéries, d'une façon située et spécifique, c'est cette « biologie de l'histoire » du Capitalocène/Plantationocène, l'histoire de

l'extraction et de l'appropriation par certains humains de certaines potentialités des microbes, et ce qu'elles ont permis.

Mais l'historienne Landecker explique aussi que nous vivons dans les futurs produits par ce que nous pensions savoir — une assertion particulièrement importante pour la suite de cet ouvrage. Par celle-ci, elle souligne le poids et les conséquences des épistémologies et des conceptions développées dans les sciences. Sa mise en garde conduit également à une certaine humilité quant à ce que nous pensions savoir. Le propos n'est pas relativiste, au sens où tout se vaudrait. Pour le dire avec les mots de Stengers (2020), Landecker nous rappelle ainsi que les savoirs sont situés, c'est-à-dire relatifs à une situation donnée, et qu'ils sont construits : ils ont une histoire et, de plus, leurs applications ont des conséquences que l'on ne saurait toutes prévoir.

En l'occurrence, les écologies simplifiées ont été centrales dans la production des savoirs en microbiologie. Les historiens et historiennes des sciences ont montré comment l'épuration et la simplification des milieux de vie microbiens dans les laboratoires ont permis la systématisation des taxonomies et la répartition du monde microbien en espèces distinctes (Gradmann, 2009 ; Grote, 2018). D'une certaine manière, en laboratoire aussi, on a fait et on fait des monocultures de microbes et on a majoritairement fait primer l'individu sur la relation.

Je me permets tout de même une parenthèse ici : cette simplification a en partie créé une cécité par rapport aux espèces qu'on pourrait nommer communautaires. En faisant de la monoculture de microbes, on exclut certaines espèces qui ne peuvent être isolées car elles nécessitent la présence d'autres espèces pour leur survie. J'ajoute également que toute science est par définition réductionniste. Toute catégorie est imparfaite. Le danger vient précisément de l'occultation de cette évidence, de l'oubli de la façon dont les savoirs sont

construits, et de l'oubli de la nécessité de reconnaître, et parfois d'articuler ces différentes formes de réductionnisme.

Une « vision écologique » prenant en compte les relations entre micro-organismes mais aussi entre maladie, environnement, et processus évolutifs, existait au xx<sup>e</sup> siècle. Cependant elle est longtemps restée minoritaire. Ce n'est qu'au début des années 1980 que cette « vision écologique » a été plus clairement mobilisée pour expliquer l'émergence des maladies infectieuses et la résistance aux antibiotiques (Anderson, 2004).

L'histoire des antibiotiques constitue bel et bien une mise en garde. Les microbes, et plus généralement les êtres vivants, réagissent aux projets des humains et agissent sur eux. S'ils peuvent être extraits de leurs milieux de vie et mis au travail dans les plantations des firmes pharmaceutiques, les conséquences de ces mises au travail finissent par se faire sentir et se rappeler aux humains. Mais une mise en garde n'est malheureusement pas suffisante. La découverte des antibiotiques et surtout l'industrialisation de leur production dans les années suivantes sont des événements importants, majeurs même, dans l'histoire du xx<sup>e</sup> siècle. Cette histoire, complexe, non-linéaire, multi-spécifique et multi-scalaire constitue la matrice dans laquelle et à partir de laquelle sont développées les innovations autour des microbes. Le développement des antibiotiques a orienté vers un certain type de rapports aux micro-organismes permettant l'exploitation de leurs potentialités, au point de devenir dominant, et avec lui tout un ensemble d'infrastructures nécessaires à cette exploitation. On ne peut faire abstraction de cette focalisation.

### *Transition : antibiorésistance, ontologies et épistémologies*

Comment sortir de ce type de rapports ? Comment faire exister d'autres façons de faire, d'autres pratiques ? Quel est le champ des possibles pour répondre aux problèmes que les humains rencontrent aujourd'hui ? Je voudrais faire

une proposition quant à l'anthropologie et ce qu'elle a, il me semble, à apporter. On doit à Lévi-Strauss la partition entre ethnographie, ethnologie et anthropologie, les philosophes se taillant au passage la part du lion en se réservant l'anthropologie comme espace de montée en généralité à partir du travail des « petites mains » que seraient les ethnographes. Or c'est pourtant bien dans le quotidien des pratiques, dans les descriptions fines, qu'il nous faut aller puiser. Au lieu de monter vite en généralité, de se précipiter dans l'ontologie, il nous faut examiner les pratiques existantes, c'est-à-dire découvrir les divers assemblages et les multiples façons de faire monde déjà là.

Je ne vais donc pas proposer de redéfinir notre rapport au « vivant », ni parler de changement ou de tournant ontologique. Parce que c'est trop général. Aussi parce que ces propositions, si elles peuvent être séduisantes (de fait presque tous les étudiants et étudiantes veulent transcender la dichotomie nature/culture), conduisent le plus souvent à décrire des positions homogènes et monolithiques, considérées comme répréhensibles et à abolir, et contre lesquelles on ferait alors valoir des alternatives tout aussi massives, mais forcément plus respectueuses du vivant.

Les effets de ce primat de l'ontologie sont dommageables pour plusieurs raisons. Sur le plan politique, il n'offre pas de prise concrète à l'action, dans la mesure où un changement ontologique ne se décrète pas. Comme j'ai tenté de le montrer brièvement avec les antibiotiques, ces molécules dépendent et participent d'agencements productifs et de nombreuses infrastructures ; les défaire s'avèrera une tâche extrêmement compliquée. Les enquêtes ethnographiques auxquelles je me livre depuis plus de quinze ans sur les microbes, que ce soit dans les laboratoires, en étudiant les essais cliniques, les recommandations de l'OMS, les politiques de santé ou du médicament, les hôpitaux ou les textes réglementaires pour ne citer que ces espaces, montrent la richesse, la complexité et la variété des échelles et des agencements, des acteurs,

des institutions et des infrastructures dans lesquels et par lesquels existent les relations entre êtres vivants. De fait, elles invalident l'hypothèse d'un changement ontologique qui interviendrait suffisamment rapidement (et à quelle échelle en fait ?) pour avoir une quelconque chance de nous tirer de ce champ de mines dans lequel nous vivons désormais.

Le primat de l'ontologie peut également être dépolitisant car si la question ontologique peut intégrer celle des systèmes de domination qu'elle contribue à structurer (l'extériorisation de la nature a permis aux Modernes de naturaliser et donc de légitimer un ensemble de systèmes de domination sur des sujets, permettant leur exploitation), la façon dont elle est saisie aujourd'hui ne fait qu'une place mineure (voire parfois inexistante) à l'étude et à la prise à bras-le-corps de ces systèmes de domination. Elle peut même contribuer à les invisibiliser, voire de façon insidieuse, permettre leur reconduction. Par exemple, se dire chamane ou revendiquer la possibilité de reprendre à notre compte des morceaux de cosmo-ontologies d'autres peuples peut devenir un geste d'extraction qui ne tient pas compte des attachements, agencements et assemblages dans lesquels s'incarnent ces cosmo-ontologies.

Enfin, si analyser les différentes ontologies peut parfois être porteur de propositions et de réflexivité sur l'ethnocentrisme, parler de « renouvellement ontologique » est maladroit dans la mesure où cela ne pose pas, précisément, la question de l'attachement des êtres vivants à des pratiques existantes. Pour le dire autrement, s'il y a un besoin urgent de répondre aux désastres, il y a un besoin tout aussi urgent de définir, pour chaque situation, chaque pratique, ce à quoi les êtres tenus par ces pratiques tiennent. Il s'agit également de ne pas être insultant dans la prétention à savoir ce qui serait bon et ce qui serait mauvais, ce qui constituerait un attachement acceptable, un rapport au « vivant » vertueux. L'idée d'un nécessaire renouvellement ontologique repose par ailleurs sur la prémisse que nous ne disposerions pas des ressources

nécessaires. Que nous n'aurions en quelque sorte qu'un type de relation aux êtres vivants, celui qui découlerait de l'extériorisation de la nature, du grand partage instauré durant le XVI<sup>e</sup> siècle. Nous arrivons ici à un nœud, qui méritera plus d'attention et de longues discussions interdisciplinaires, mais pour le dire de façon un peu abrupte, il y a, dans la proposition d'un renouvellement ontologique, comme une sorte de naturalisation du naturalisme : l'idée que le schème naturaliste n'est pas seulement dominant, mais exclusif. Nous ne serions que modernes, définitivement et irrémédiablement modernes. L'issue ne serait donc possible que par une sorte de virtuosité visant à nous extraire de ce faux-pas ontologique de plusieurs siècles.

Ainsi les propositions reposant sur la création de nouvelles ontologies sont à première vue séduisantes (et souvent un peu exotiques), mais elles peuvent être dépolitisantes (en ne donnant pas de prise concrète à l'action) et démoralisantes. C'est peut-être même parce qu'elles sont dépolitisantes, parce qu'elles n'impliquent pas de faire des choix situés, parce qu'elles laissent comme hors-champ la violence et la souffrance engendrées par ces choix d'inclure ou d'exclure, qu'elles rencontrent un aussi vif succès.

C'est ici que les travaux de Bruno Latour, et plus généralement des chercheuses et des chercheurs des *Science and technology studies*, sont précieux. Prendre au sérieux la proposition de Latour, c'est reconnaître que *Nous n'avons jamais été* (vraiment) *modernes*. Et donc que si le récit du grand partage a des effets performatifs très forts, si les changements majeurs qui ont eu lieu au XVI<sup>e</sup> siècle reposent en effet sur un nouvel ordonnancement des êtres et des choses, et pour cette raison instaurent de nouveaux systèmes de domination, il n'en reste pas moins que dans les pratiques, de très nombreuses configurations existent, qui reposent sur des hybridations constantes. Les Modernes ne font pas ce qu'ils disent qu'ils font. S'ils ont instauré une séparation nette, un « grand partage » entre nature et culture, entre science et

politique, entre nature et objets techniques, entre humains et non-humains, ils passent en fait leur temps à produire des hybrides.

Bien des choses découlent de cette affirmation. Pour ma part, depuis ma thèse sur les relations entre les humains et les levures *Saccharomyces cerevisiae*, je place au centre de mon travail la différence entre science faite et science en action. La science faite, c'est la science stabilisée dans le discours, celle qui omet tous les échafaudages et tous les agencements sur lesquels repose la production d'un fait scientifique. La science en action, c'est l'ensemble des pratiques quotidiennes qui nous donnent à voir une tout autre histoire, bien plus riche et plus intéressante. Cette distinction a été fondamentale lorsque j'ai commencé à découvrir les travaux des *Science and technology studies*. D'abord, elle permettait de mettre en mot ma propre expérience des sciences de la vie : je ne faisais pas ce que je voyais décrit dans les manuels. Par ailleurs — et cela est venu un peu plus tardivement —, cette affirmation que nous n'avons jamais été modernes porte également en elle un horizon de possibles. Si les scientifiques ne font pas ce qu'ils disent qu'ils font, alors il est possible de faire émerger d'autres histoires en retournant dans les laboratoires, en étudiant les pratiques de production des savoirs (quels que soient d'ailleurs ces savoirs : institutionnels, scientifiques, vernaculaires ou non, mais toujours situés).

La proposition que je fais est donc beaucoup plus modeste qu'un changement ontologique. Elle repose sur ce qui est déjà là, déjà pensé, déjà agi, déjà en mouvement. Il n'est donc pas question d'inventer, mais de rendre visible et sensible. Visibiliser n'est jamais neutre, jamais innocent, et c'est ici que réside la puissance de l'ethnographie : dans le développement et la mobilisation d'autres façons de décrire et de raconter ce qui est déjà là, qui puissent nous offrir de nouvelles prises pour penser et agir. L'anthropologue Kim Fortun (2012) ne dit pas autre chose lorsqu'elle propose de considérer l'ethnographie comme une activité militante permettant, à sa mesure,

de participer aux efforts pour faire face aux désastres de ce qu'elle nomme l'« industrialisme tardif » (pour qualifier les formes prises par celui-ci après la Seconde Guerre mondiale).

Les épistémologues féministes, et notamment les tenantes des « savoirs situés », travaillent en ce sens depuis des décennies. Leurs travaux sont plus que jamais déterminants. La biologiste et philosophe Donna Haraway (1988) propose de renvoyer dos à dos positivistes et relativistes en faisant valoir dans les deux cas la désincarnation de la production des savoirs, reposant sur le dualisme corps/esprit. Ces conceptions philosophiques s'appuient en effet sur le « point de vue de nulle part » : sur la possibilité supposée de construire une position parfaitement neutre à partir de laquelle il serait possible d'accéder aux faits bruts, dans le cas du positivisme ; sur celle que toutes les positions se vaudraient dans le cas du relativisme. Cela revient à être ici « nulle part » tout en clamant être partout. L'objectivité féministe se construit tout autrement : elle embrasse le fait que les savoirs sont situés (*location*), produits à partir de perspectives partielles (*partial perspective*), par des corps pris dans des trajectoires (*embodiment*)<sup>10</sup>. Et donc qu'il s'agit de concevoir la multiplicité des épistémologies, et de penser leurs possibles articulations<sup>11</sup>.

Choisir les sujets que nous traitons, la façon de les problématiser, le type de méthodes que nous mettons en œuvre, ce que nous décidons de considérer comme important, ou à l'inverse comme négligeable, voilà ce qui doit être pensé. Pour les tenantes des savoirs situés, il s'agit donc de reconnaître que les savoirs produits ne sont pas innocents (Despret, 2012). Ils se fondent au contraire sur des propositions politiques (ou infra-politiques), au sens où elles portent en elles des

---

10 Cette reconnaissance du caractère multiple et incorporé des savoirs, et donc des épistémologies qui les soutiennent, est également centrale dans les études décoloniales (Colin et Quiroz, 2023).

11 Ce qui constitue en grande partie les enjeux à la fois scientifiques et éthiques de l'interdisciplinarité : reconnaître et accueillir les savoirs situés, et travailler à des articulations qui respectent les propositions centrales de ces savoirs.

choix sur ce qui semble important et ce qui peut être négligé. Ces propositions intègrent un certain ordonnancement des êtres et des choses. Ce que soutiennent les savoirs situés, ce que mettent en évidence l'épistémologie féministe et certains travaux de *Science and technology studies*, ce sont précisément ces choix, et donc ce qu'ils permettent et ce qu'ils rendent insensibles. Aucune connaissance n'est innocente. Cela signifie que nous devons également être prêts à admettre que tout savoir a des conséquences.

Reconnaître le caractère situé de toute connaissance s'assortit d'une exigence forte : il ne s'agit pas seulement de se situer au sens où nous devrions toutes et tous dire d'où nous parlons. Il s'agit également d'apprendre à décrire ces positions et propositions, à les visibiliser, à rendre compte des rapports de force et de pouvoir qui les conditionnent, et donc de savoir ce qu'elles permettent ou pas. De ne pas céder aux sirènes du discours dominant, à une certaine manière de raconter des histoires. Ces descriptions et ces récits sont nécessaires s'il s'agit ensuite de trouver des façons de faire exister ces pratiques et les propositions qu'elles portent hors des lieux dans lesquels elles ont pris naissance. Si l'on prend le cas de l'antibiorésistance et des microbes, la question est la suivante : une fois mises en lumière ces autres pratiques, comment assurer leur reproduction en dehors des laboratoires, dans d'autres agencements, avec d'autres acteurs et actrices et d'autres infrastructures ? C'est le mouvement que je propose de faire dans la deuxième partie de cet ouvrage, en poussant la porte des laboratoires et en décrivant ce qu'implique, au quotidien, de travailler avec les microbes.

## Pluribiose, microgéo-histoires et collection : ce que travailler avec les microbes requiert

### *Humains, levures et domestication*

Travailler avec les microbes implique un certain nombre de règles et de normes. C'est ce que j'ai pu apprendre, décrire

et documenter lors des recherches menées pendant ma thèse, qui portait sur les relations qu'entretiennent les biologistes avec les levures de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*.

*S. cerevisiae* est un organisme unicellulaire eucaryote. La cellule qui le constitue présente des similitudes extrêmement fortes avec d'autres cellules eucaryotes, comme celles qui constituent le corps humain. Pour cette raison, la levure est considérée comme un organisme modèle en biologie : de nombreuses fonctions partagées par les cellules eucaryotes ont été, et sont toujours, étudiées chez la levure.

Lors de ma thèse, je voulais comprendre ce que demandait, au quotidien, de travailler avec des levures afin d'apprendre d'elles, de faire d'elles des « témoins fiables ». Dans *L'invention des sciences modernes*, Isabelle Stengers (1993, p. 102) définit en effet l'invention expérimentale comme « le pouvoir de conférer aux choses le pouvoir de conférer à l'expérimentateur le pouvoir de parler en leur nom », comme une interaction entre ce qui va devenir au cours même de cette interaction un « témoin fiable » et son porte-parole.

Quels types de relations, de savoir et savoir-faire, de gestes, de rapport au corps ou au temps développent les personnes qui interagissent avec les levures dans le but de produire des connaissances solides ? C'est-à-dire dans le but de faire des levures des « témoins fiables », pour leur permettre de « répondre de la réponse » ? Afin de ne rien présumer ni de ne faire appel à aucune catégorie socio-anthropologique généralement utilisée dès lors qu'il s'agit de décrire les activités scientifiques, j'avais alors proposé comme préalable de poser le laboratoire de biologie comme le lieu de vie de deux espèces, *Homo sapiens* d'un côté, *Saccharomyces cerevisiae* de l'autre, chacune possédant son *Umwelt*.

Dans un livre datant de 1934, Jacob von Uexküll, biologiste considéré comme l'un des pionniers de l'éthologie, introduit ce terme pour définir le monde tel que les animaux le perçoivent. Selon lui, chaque animal est sensible à certains

seulement des composants et signaux de l'environnement (monde de perception), et agit en fonction (monde d'action). Ces deux mondes forment une totalité close, le milieu ou *Umwelt*. Je décidais donc d'étendre aux levures, et plus généralement aux microbes, la notion d'*Umwelt*, et ce pour poser ces micro-organismes comme des sujets<sup>12</sup>.

Les biologistes connaissent de nombreuses choses sur les levures et sur leur *Umwelt* : comment elles se nourrissent, se reproduisent, croissent, respirent ou fermentent, la température idéale à laquelle elles se développent, certaines de leurs voies métaboliques, et jusqu'à l'intégralité de leur génome (séquencé en 1996). L'*Umwelt* de la levure — son monde de perception et son monde d'action — semble donc être réduit dans le laboratoire à ce qui se trouve dans les boîtes de pétri : le milieu de culture, défini et standardisé depuis longtemps pour répondre aux besoins de l'organisme, et qui permet aux chercheurs de contraindre l'organisme à agir plus ou moins à leur guise. L'*Umwelt* des levures semblait donc, dans les premières semaines de ma recherche, parfaitement domestiqué : les levures dans leurs boîtes, les chercheurs dans leur laboratoire, formaient deux espèces clairement séparées, les seconds s'occupant seulement de préparer correctement les milieux de culture des premières.

Il est cependant devenu évident, au fil des semaines puis des mois, que les choses étaient plus complexes. Les humains étaient en fait souvent contraints par les levures : leur temps de croissance, par exemple, déterminait le temps expérimental, et donc l'organisation des journées et des semaines de chaque membre de l'équipe.

---

12 Lorsqu'on lit tous les ouvrages d'un auteur ou d'une autrice, il arrive un moment où ces ouvrages font pleinement partie de la construction de notre pensée. Cela a notamment été mon cas pour les ouvrages de Vinciane Despret, notamment *La danse du cratérope écaillé* (réédité en 2021), qui m'accompagnent depuis ma première année de thèse et qui ont été et sont toujours centraux dans ma façon d'appréhender les relations entre les êtres vivants dans la production des savoirs.

L'organisation même du travail dépendait des levures, de leur invisibilité, de leurs spécificités. Une feuille, scotchée sur les murs de chaque pièce, rappelait à chacun et à chacune ses charges, dont il ou elle devait s'acquitter sous peine de se faire réprimander par le directeur de l'équipe. Ces tâches étaient en fait presque toutes dédiées à la gestion de l'environnement des levures. Et si l'on pouvait douter de leur utilité réelle — la feuille, omniprésente, devenant par-là même invisible à son tour — un épisode de contamination, auquel j'ai assisté, est venu illustrer l'importance de ce travail.

La contamination, c'est-à-dire la présence, dans les boîtes ou les tubes, de micro-organismes non désirés par les biologistes (bactéries, autres espèces de levure, champignons, etc.) constitue un événement particulièrement désagréable pour les membres de l'équipe, et de façon générale pour les biologistes<sup>13</sup>. Les conséquences sont importantes et complexes, notamment parce qu'un autre micro-organisme vient déséquilibrer les apports en nutriments prévus par les chercheurs pour les levures, et remet donc en cause les résultats des expériences, et les interprétations qui peuvent en être faites. La contamination est à la fois la révélation de la présence d'un organisme indésirable, et en tant qu'anomalie, elle révèle des règles et des normes sous-jacentes : pendant plusieurs jours toutes les hypothèses sur la source de la contamination ont été explorées, la verrerie a été entièrement autoclavée, du matériel jeté, les réfrigérateurs nettoyés, les milieux de culture détruits, montrant ainsi qu'au-delà de la préparation commune des expériences, toutes les tâches collectives ont pour but de préserver l'espace du laboratoire d'éventuelles intrusions, de préserver la levure de potentielles relations non désirées.

---

13 Bien qu'elles soient parfois génératrices de surprises, mais encore faut-il pouvoir décentrer le regard : *Penicillium notatum* était un organisme indésirable, jusqu'à ce que les effets de sa présence, et la possibilité de témoigner des conséquences de ses interactions avec les bactéries présentes sur les boîtes de pétri de Fleming, conduisent ce dernier à requa-  
lifier l'événement.

La possibilité même de ce genre d'incident implique que ce que l'on nomme le milieu n'est pas si clairement délimité, et la standardisation des milieux de culture et des protocoles pas si sûre<sup>14</sup>. L'environnement de la levure est ainsi bien plus vaste que la boîte de pétri ou l'erlenmeyer (récipient conique à fond plat qui permet de faire de la culture de micro-organismes en milieu liquide) utilisés pour les expérimentations. Les milieux de culture ne sont qu'une petite partie du dispositif dans lequel elles évoluent, la seule partie que l'on mentionne et dont on tient compte lorsque les choses fonctionnent comme le souhaitent les chercheurs, mais qui retrouve sa place au sein d'un dispositif plus large lorsqu'un événement comme une contamination vient à se produire.

La frontière entre l'intérieur et l'extérieur du laboratoire est donc mince, et doit être maintenue, réactualisée et reconstruite en permanence, par une gestion stricte de l'espace dans lequel évoluent chercheurs et levures. Plus précisément, la population vivant dans cet espace ne peut être la même qu'à l'extérieur. En effet, l'*Umwelt* de la levure a beau être domestiqué, cette domestication n'est jamais totalement acquise, et demande aux humains d'organiser leur temps et leurs actions dans le laboratoire, tant au niveau individuel (gestion du temps expérimental), que collectif (tâches communes), en fonction de l'organisme. Cette domestication demande une gestion de l'espace : le laboratoire ne peut contenir n'importe quel organisme. Dans l'absolu, il ne devrait contenir que des humains et des levures, mais au plus fort des efforts des humains, il contiendra outre ces deux espèces, quelques autres, tant que celles-ci ne sont pas nuisibles au travail effectué, tant qu'elles ne viennent pas perturber la coordination patiemment mise en place par les membres du laboratoire.

Le laboratoire n'apparaît alors plus comme un milieu défini dans lequel cohabiteraient des humains et des levures, lieu

---

14 La question de la standardisation est centrale dans les *Science and technology studies*. Concernant les protocoles dans les laboratoires, voir Clarke et Fujimura (1996).

délimité au sein duquel ils viendraient prendre place, mais bien comme un espace entièrement défini par les interactions entre ces deux espèces (Brives, 2010, 2017).

Produire des connaissances sur les levures impose cependant, en plus du travail quotidien pour assurer la subsistance de ces êtres particuliers que sont les levures de laboratoire, un autre type de travail, à savoir celui de doter celles-ci de compétences particulières. Ce travail supplémentaire se retrouve dans le champ lexical par un changement de dénomination : on utilise généralement le terme de « levures », mais c'est le terme de « souche », suivi d'un numéro d'identification, qui est utilisé dans les expérimentations. Ce changement n'est pas anodin : il sanctionne le passage de la levure générique à une levure individualisée et identifiée, la souche-témoin-fiable qui répondra (ou non) aux questions des membres de l'équipe.

Passer de la levure à la souche est cependant une transition délicate. Une souche est une levure caractérisée, c'est-à-dire une levure dont on connaît le génome, les mutations, certaines de ses particularités physiologiques ou physiques, certains comportements. Pour en arriver là, les scientifiques acquièrent de nouvelles compétences au fur et à mesure que les levures en acquièrent également. Les biologistes apprennent à préparer correctement les levures pour les expérimentations, à comprendre leurs comportements (individuels et/ou collectifs), à appliquer une politesse du faire connaissance qui assure que les faits ne seront pas produits « dans leur dos », pour reprendre l'expression et les travaux de la philosophe Vinciane Despret. Ce qui se joue au quotidien, ce sont des interactions au cours desquelles tant le statut de la levure que celui des biologistes se trouvent en permanence redéfinis. La production des faits est un long cheminement, un perpétuel apprentissage ; c'est l'acquisition de compétences nouvelles, tant chez les scientifiques que chez les levures, qui nécessite en permanence d'être ajustée.

Après deux années passées dans le laboratoire, l'objectivité n'apparaissait plus comme le fruit du regard d'un chercheur extirpé d'un contexte sur un objet naturel, mais comme l'aboutissement d'un mouvement entre ces deux entités, une suite d'adaptations et d'ajustements, qui aboutit à l'identification d'une souche de levure. La souche, c'est la levure objectivée, c'est le résultat de ce long processus d'ajustement, de ce mouvement d'objectivation qui fait de cette entité biologique un « témoin fiable », que l'on peut nommer, et qui peut répondre de la réponse. Et qui fait des laborantins et des laborantines des personnes qui ne sont pas interchangeables, et dont les savoirs et savoir-faire sont précieux.

Le travail d'objectivation n'est cependant pas suffisant. Il faut pouvoir s'assurer de son maintien. Comme toute entité vivante la levure ne cesse d'évoluer, de se co-constituer avec le milieu dans lequel elle vit. Son temps, cependant, est différent de celui des humains. Les conséquences d'éventuelles mutations de notre génome ne sont pas visibles à l'échelle d'une génération humaine. Il en va autrement pour les levures, qui possèdent un cycle de reproduction asexuée très court, de l'ordre d'une vingtaine de minutes. En 24 heures, près de 72 générations de levures coexistent sur la même boîte de pétri ou dans le même erlenmeyer. À cette échelle, non seulement les mutations sont très fréquentes, mais elles peuvent devenir perceptibles au travers des changements de comportement. Il s'ensuit qu'une souche de levure, dont on connaît le génome, peut muter et perdre ce statut de témoin fiable si important pour mener à bien les expérimentations<sup>15</sup>. La congélation permet de ralentir suffisamment le métabolisme des levures pour éviter que celles-ci ne se reproduisent

---

15 C'est un des très beaux enseignements que je dois à Carole, la biologiste cellulaire de l'équipe qui, après des années à travailler avec les levures, a su se rendre sensible à des variations imperceptibles pour d'autres. Elle pouvait notamment, en plaçant les levures sous son microscope, déceler des problèmes lors de la mise en culture de ces levures : celles-ci avaient alors « une sale gueule », façon pour la biologiste de questionner la fiabilité de leur témoignage.

et mutent, et ne viennent compromettre le long travail des biologistes.

J'ai pu observer l'importance stratégique de cette congélation dans les allées et venues autour du congélateur dans lequel étaient stockées (à  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) les quelque 6 000 souches de levure, et dont l'accès était strictement réglementé : seuls celles et ceux qui avaient appris et intégré dans leurs corps ce qui importait pour faire de ces levures des témoins fiables, qui avaient donc été transformés par leur rencontre avec les levures, avaient le droit d'approcher ces collections. Dans l'histoire de l'équipe, m'avait confié son directeur, un seul membre non titulaire avait obtenu un tel privilège, une doctore particulièrement précautionneuse. Les autres devaient faire appel aux titulaires. Ceux-ci, avec d'infimes précautions passant inaperçues pour qui ne saurait pas où ni quoi regarder, sortaient alors telle ou telle souche de levure du congélateur, en prélevaient stérilement, sous hotte aspirante, une petite quantité destinée à l'expérimentation, puis remplaçaient tout aussi rapidement et délicatement le tube dans le congélateur.

Le congélateur constituait le centre névralgique du laboratoire : une archive vivante de l'histoire scientifique de l'équipe de recherche, chaque souche pouvant être tracée et rattachée à la vie expérimentale des membres de l'équipe. Mais le congélateur assure aussi les conditions de reproduction des faits dans d'autres lieux et en d'autres temps : autant de souches identifiées, autant de micro-organismes qui peuvent être envoyés aux quatre coins du monde pour permettre à d'autres biologistes de reproduire les faits décrits dans les articles, ou de continuer l'exploration de telle ou telle souche présentant à leurs yeux des caractéristiques intéressantes.

Ce passage par les levures me permet de mettre en évidence le travail que nécessitent, au quotidien, les interactions avec les microbes dans les laboratoires. Un travail de subsistance (lié à la domestication des levures de laboratoire), et

un travail de maintenance (lié à l'entretien des collections de souches). Un travail nécessaire tant à la reproduction des levures qu'à la reproduction des faits scientifiques. Un travail cependant le plus souvent minoré, passé sous silence, qu'il faudrait pourtant ne pas perdre de vue dès lors que les humains souhaitent utiliser ces microbes. Ce qui est le cas pour les phages que l'on souhaite embarquer dans la lutte contre la résistance des bactéries aux antibiotiques.

### *Phages, bactéries, et antibiorésistance*

Les bactériophages, ou phages, sont des virus composés principalement d'acides nucléiques (ADN ou ARN) et de protéines, qui forment une capsid, une sorte de coque autour de leurs acides nucléiques et qui ont pour hôtes des bactéries. Partout où l'on peut trouver des bactéries, on trouve également des phages, et ce en quantité. On estime que, pour chaque bactérie sur Terre, on peut compter une dizaine de phages. Ces derniers sont pour cette raison considérés comme l'entité biologique la plus représentée sur la planète. Vous en avez partout, sur votre peau, dans l'air que vous respirez, dans vos intestins, sur les surfaces que vous touchez, sur les objets que vous manipulez... Partout. Invisibles, omniprésents et méconnus.

Les phages sont le plus souvent présentés dans les publications spécialisées ou à destination du grand public comme des « tueurs professionnels » de bactéries. Ils entretiennent avec ces dernières des relations pourtant bien plus complexes, qui remontent à plusieurs milliards d'années. Phages et bactéries sont des êtres en constante coévolution, au travers de cycles biologiques variés. Les plus fréquemment observés, et par conséquent ceux sur lesquels les scientifiques ont acquis le plus de connaissances, sont les cycles lytique et lysogénique. Ces deux cycles constituent l'essentiel de ce qu'il faut savoir pour comprendre les relations entre phages et bactéries, et pour être en mesure d'analyser le plus finement possible

ce qui est en jeu dans la mobilisation de ces virus dans les projets des humains.

La rencontre entre un phage et une bactérie débute toujours de la même façon : après une première étape dite d'adsorption, au cours de laquelle un phage va « reconnaître », sur la membrane d'une bactérie, un motif qui va lui permettre de s'accrocher, le virus fait entrer son ADN dans la cellule bactérienne. Cette première étape est très spécifique : un phage ne peut généralement reconnaître qu'une seule espèce bactérienne donnée, et parfois seulement certains des variants génétiques (ou souches) de cette espèce bactérienne. Pour donner un exemple, un phage donné peut reconnaître une bactérie de l'espèce *Pseudomonas aeruginosa*, mais cela ne garantira aucunement qu'il puisse entrer en relation avec une autre bactérie de la même espèce.

Deux possibilités s'offrent alors, en fonction des capacités du phage et du contexte de la rencontre. Si le phage est virulent, il va utiliser la machinerie cellulaire de la bactérie pour répliquer son ADN et fabriquer les protéines de sa capsid. Plusieurs dizaines, parfois plusieurs centaines de nouveaux phages, ou virions, sont ainsi produits et libérés dans le milieu après la désintégration de la membrane bactérienne (ce qu'on appelle la lyse). Autant de phages pourront alors se lier à d'autres bactéries, autorisant un principe de lyse auto-entretenu : tant qu'il reste des bactéries, les phages vont continuer de se lier à elles et de se multiplier. C'est ce qu'on appelle le cycle lytique.

En revanche, si le phage est tempéré, son ADN peut s'intégrer à celui de la bactérie hôte. Cette dernière est alors porteuse de nouveaux gènes, qui peuvent lui conférer de nouvelles compétences, qu'elle transmettra à sa descendance. C'est le cycle lysogénique. Sous l'effet de certains facteurs environnementaux, comme les ultra-violets, un changement de pH ou de salinité, ou bien encore la présence de certaines molécules chimiques, le phage pourra cependant s'exciser :

l'ADN du phage se détachera de l'ADN de la bactérie, et un cycle lytique pourra alors débuter.

La thérapie phagique repose sur l'utilisation de leurs propriétés lytiques, en d'autres mots, leur habileté à détruire les bactéries. Il s'agit de sélectionner un ou plusieurs phages virulents actifs sur la bactérie responsable de l'infection à traiter, et de les administrer au plus près de la bactérie de façon à ce que la phase d'adsorption, et ainsi le processus de lyse auto-entretenu, puissent se mettre en place.

En raison de la très forte spécificité des phages cependant, il faut disposer d'un nombre suffisant d'entre eux pour chaque espèce bactérienne si l'on veut espérer avoir la meilleure couverture possible. Cela implique de constituer des collections. Je n'entre pas ici dans le détail de cette constitution<sup>16</sup>, mais je voudrais revenir rapidement sur ce qui caractérise ce travail.

Pour isoler et caractériser de nouveaux phages, on utilise généralement des collections bactériennes, elles-mêmes très bien caractérisées. Ces collections (on peut garder l'exemple d'une collection de *P. aeruginosa*) sont généralement constituées à partir de prélèvements effectués sur des personnes malades, traitées dans des hôpitaux. Comme on trouve des phages partout où l'on trouve des bactéries, les biologistes cherchent généralement à isoler de nouveaux phages à partir d'eaux dites « riches »<sup>17</sup> (en bactéries), c'est-à-dire des eaux des stations d'épuration, des canalisations d'hôpitaux, des lacs ou des mares. En mettant ces eaux au contact d'une bactérie donnée, il est possible, par des techniques assez simples mais qui requièrent un véritable savoir-faire,

---

16 Pour une description fine des pratiques d'isolement de nouveaux phages, voir Brives (2022).

17 Les microbes ont ceci de fabuleux qu'ils imposent très souvent des décentrements, des pas de côté, quant à certaines catégories souvent mobilisées. Les eaux riches ici sont celles que nous avons appris à considérer comme mauvaises dans un autre référentiel. Une autre façon de rappeler l'importance de toujours situer les pratiques et les usages.

d'isoler un phage actif sur la bactérie. J'ai passé un certain temps en compagnie de Julie, une technicienne qui avait en charge l'isolement des phages dans son équipe de recherche. Sensibilisée par mes travaux antérieurs sur les levures, j'ai remarqué que Julie disposait d'un savoir-faire et de connaissances spécifiques qu'elle avait acquis au cours des longues heures passées à la paillasse à mettre en contact, sur des géloses, dans des boîtes de pétri, des bactéries et des phages. Julie me parlait alors du couple que formaient un phage et une bactérie. Chaque rencontre était unique me disait-elle, ce qui la conduisait à faire varier certains paramètres lors de l'isolement de nouveaux phages, comme le temps de mise en contact entre les deux entités ou les concentrations, en phages et en bactéries, des solutions utilisées ou d'autres menus détails qui, dans les articles scientifiques, sont relégués — et parfois même non mentionnés — dans la partie « matériel et méthodes ». Ces détails sont pourtant particulièrement importants aux yeux de Julie.

Ce qui va être isolé puis caractérisé, c'est donc un phage provenant d'une eau prélevée à un endroit donné, mis au contact d'une souche bactérienne provenant elle-même du prélèvement sur une personne infectée de tel hôpital, par une technicienne qui a acquis des compétences particulières et qui va choisir, grâce à cette expérience, les conditions de leur mise en relation. Ce qui va être isolé et caractérisé, c'est donc ce phage, dans sa relation à cette bactérie précise, à ce moment précis. Si l'on mettait ce phage isolé au contact d'une nouvelle souche bactérienne, il co-évoluerait avec celle-ci au fur et à mesure des cycles, et nous obtiendrions un autre phage, qui n'aurait plus tout à fait le même génome, ni les mêmes capacités d'interaction, et peut-être plus la

même virulence non plus<sup>18</sup>. Chaque phage qui entre dans la collection à la suite d'un long processus d'isolement et de caractérisation, et qui va, comme la levure objectivée, recevoir un petit nom, est donc l'instantané, à un temps  $t$ , d'une relation vouée à évoluer en permanence, une photographie de ce que j'ai choisi de nommer des microgéo-histoires.

Une fois dans la collection, et c'est bien tout l'enjeu, ce travail colossal d'isolement et de caractérisation ne doit pas avoir été vain : plus rien ne doit bouger, raison pour laquelle les collections de phages et de bactéries sont, tout comme les levures, stockées dans des congélateurs à  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Les bactéries des patients, comme les phages des eaux usées, doivent, tout en restant vivants, ne plus changer, ne plus évoluer, que ce soit sur le papier ou dans les tubes. Car le savoir acquis n'est valable que pour ce couple précis, à cet instant précis de leur relation, dans le milieu dans lequel cette relation s'est déroulée.

Cette objectification n'est cependant jamais totalement acquise, pour des raisons similaires à celles que nous avons pu voir avec les levures, mais peut-être encore plus subtiles dans le cas des phages de par la relation obligatoire qu'ils entretiennent avec les bactéries<sup>19</sup>. Les êtres vivants évoluent, mutent, adaptent leurs habitudes et leur comportement au gré des rencontres. Ils sont en mouvement, varient tant dans leur composition biologique que dans leurs interactions. Les entités biologiques de laboratoire, aussi standardisées et normées qu'elles soient, opposent ainsi une certaine récalcitance à entrer dans les projets que les humains qui les ont

---

18 Les biologistes comptent beaucoup sur ces capacités évolutives : c'est notamment le fondement des pratiques d'entraînement évolutif des phages (*phage training*), qui ont précisément pour objectif d'accroître la virulence ou le spectre d'hôte des phages pour optimiser leur efficacité dans le traitement de certaines infections bactériennes (Froissart et Brives, 2021).

19 C'est l'une des raisons pour lesquelles le travail avec les phages est si stimulant : parce qu'ils ne peuvent survivre sans leur hôte, ils obligent à penser la relationalité des êtres vivants.

domestiquées ont pour elles, peuvent faire autre chose que ce qui est attendu d'elles, et ce d'autant plus qu'elles sont riches de potentialités.

Contrairement aux levures que j'ai étudiées cependant, les phages de ces collections n'ont pas vocation à rester uniquement dans les laboratoires. Ils pourront être utilisés en dehors des laboratoires, dans les corps des personnes malades (et peut-être au-delà dans celui d'animaux ou de plantes), loin donc des conditions dans lesquelles ils ont été isolés et caractérisés. Or, en dehors des laboratoires, les phages font beaucoup de choses.

Alors même qu'ils sont le plus souvent présentés comme des tueurs de bactéries pour leurs potentialités lytiques, les phages sont engagés dans la réalisation de bien d'autres types d'interactions avec les bactéries et, plus globalement, les milieux qu'ils peuplent. Les phages tempérés peuvent intégrer leur ADN dans l'ADN de leur bactérie hôte sous forme de « prophage » dans le cadre d'un cycle lysogénique. Dans ce cas, les gènes portés par les prophages interagissent, par des modalités complexes, avec les gènes de la bactérie hôte, dont les potentialités sont alors transformées. Les prophages confèrent aux bactéries qui les portent des compétences et des aptitudes que celles-ci n'avaient pas auparavant. Par exemple, mais pas uniquement, la capacité à résister à certaines molécules chimiques comme les antibiotiques.

Avec l'intrication des matériels génétiques, le mode d'existence du virus change radicalement : il fait partie intégrante de la bactérie, laquelle développe de nouvelles compétences. Est-ce que ce sont celles de la bactérie ou celles du virus ? Les deux entités peuvent-elles encore être dissociées ou forment-elles une chimère, une nouvelle entité ? Ces questions sont d'autant plus complexes que l'entité ainsi formée peut tout à fait être transitoire. Dans des conditions de stress environnemental, comme par exemple un changement de salinité, de température, ou encore la présence de molécules chimiques

spécifiques comme des polluants ou des antibiotiques, le cycle lytique peut être induit.

Lors de cette transition, l'excision du génome du phage du génome de la bactérie est rarement parfaite. Parfois, le phage peut emporter un morceau du génome bactérien. Parfois, au contraire, il peut laisser un morceau du sien. Ces événements se produisent à une fréquence prodigieuse et constituent une force incroyable dans l'évolution des phages, des bactéries, et potentiellement, des autres espèces. Une force que les biologistes commencent seulement à toucher du doigt : malgré la découverte toujours plus grande de nouveaux gènes grâce aux développements sans précédent du séquençage génétique, la très grande majorité des génomes de phages demeure inconnue, tout comme les gènes qu'ils portent et les fonctionnalités qui y sont associées. Les virus bactériophages constituent ainsi le plus grand réservoir de gènes inconnus sur Terre, porteurs d'un potentiel fonctionnel inimaginable, ce que les microbiologistes appellent la *dark matter* (Hatfull, 2015).

Les phages sont donc des composteurs de monde : le cycle lytique permet, par la mort des cellules bactériennes, de libérer des nutriments et des composants qui seront récupérés par d'autres organismes. Mais ce sont aussi des brasseurs de gènes, des forces évolutives fascinantes. L'étude de leurs relations avec les bactéries met en jeu la plasticité même des entités, leur devenir commun dans et par les relations qu'ils instaurent. Les virus ne sont pas « extérieurs » aux autres entités biologiques : ils les traversent, les façonnent, les transforment de multiples façons. Ils écrivent avec elles des trajectoires qui brouillent, ou du moins redéfinissent autrement, les frontières entre certaines catégories utilisées pour penser le monde.

L'enchevêtrement de spectres relationnels multiples entre des entités toujours en devenir, formées ou transformées par leurs rencontres avec d'autres êtres vivants, c'est ce que

j'ai choisi de nommer la pluribiose. Dans les années 1960, le microbiologiste Theodor Rosebury (1962) a introduit la notion « d'amphibiose » pour décrire les relations, dynamiques et changeantes en fonction du temps et de l'espace, qui s'établissent entre des entités biologiques différentes. Pour donner un exemple, 30 % des humains sont porteurs de *Staphylococcus aureus* dans leur nez, une présence qui peut ne causer aucun désagrément (on parle alors de porteur sain). Au cours d'une chirurgie de la hanche cependant, ce même « staph » peut venir se nicher dans les incisions faites lors de l'opération, et provoquer une infection : deux endroits du corps d'une même personne, deux rencontres aux conséquences différentes. De même, au cours du temps, une même bactérie peut ne pas provoquer les mêmes réactions chez un humain. L'amphibiose, pour Rosebury, c'est la reconnaissance du caractère fluctuant des relations entre deux entités, et donc la non essentialisation de ces relations sous forme ami/ennemi ou mutualiste/pathogène par exemple. Mais ce concept repose sur une appréhension fixiste des entités qui entrent en relation : il ne tient donc pas compte des transformations qui peuvent advenir par leur rencontre.

C'est la raison pour laquelle j'ai proposé la notion de pluribiose, conçue comme l'enchevêtrement de spectres relationnels multiples entre des entités toujours en devenir, formées ou transformées par leurs rencontres avec d'autres êtres vivants. Un terme qui permet donc de souligner que les relations modifient les entités. Entités, relations et milieux sont foncièrement fluents, et profondément relationnels. Si les essentialisations et les catégories sont nécessaires à l'activité scientifique (et, plus généralement, à l'action), la notion de pluribiose vient rappeler que, tout comme les levures et les phages des collections, ces catégories sont des instanciations situées et fixes, des instantanés, de la nature fondamentalement relationnelle du vivant. La pluribiose est un concept heuristique, car il reconnaît l'importance des relations et des milieux, et nous empêche ainsi de présumer de ce

qui est biologique ou social, naturel ou culturel. Il maintient une attention particulière à ce que deviennent les entités et aux transformations qui façonnent les situations décrites et ce qu'elles contiennent. C'est aussi un concept prescriptif, dans la mesure où il reconnaît la nature fondamentalement multiple et située des savoirs sur le vivant. Et donc aussi le potentiel de transformation de ces savoirs.

Ce concept permet de tenir ensemble deux fils, ou plutôt d'exposer deux aspects extrêmement enchevêtrés mais souvent présentés séparément, qui m'ont guidée dans mon travail avec les microbes : d'un côté les biologies situées et de l'autre les savoirs situés.

Commençons par les biologies situées. On doit à Margaret Lock le concept de biologies locales en lien notamment — mais pas uniquement — avec ses travaux sur l'épigénétique. On peut résumer ainsi et très sommairement sa proposition : si l'on peut en effet reconnaître des schémas généraux, les biologies s'incarnent toujours différemment dans le temps et dans l'espace. Lock lie ainsi biologie et sociétés dans ses réflexions sur l'épigénétique. Margaret Lock et Jörg Niewöhner ont ensuite proposé de parler de « biologies situées » pour sortir du dualisme local/universel (2018). Avec les levures et les phages, on peut cependant conceptualiser ce tissage à un autre niveau, notamment parce que les organismes eux-mêmes se trouvent transformés, leurs « frontières », leurs membranes, ne constituant plus totalement la garantie d'une intégrité ou d'une identité fixée une fois pour toutes. Les microbes intègrent dans leur génome leurs interactions avec d'autres microbes, mais aussi avec les humains.

Mais le « pluri » de pluribiose renvoie également à la nature multiple et située des savoirs sur le vivant, « pluri » renvoyant alors cette fois aux épistémologies multiples, aux différentes façons dont les pratiques scientifiques peuvent se saisir d'un même sujet et produire des savoirs sur ces sujets.

La pluribiose, c'est précisément ce qu'il s'agit de ne pas oublier dès lors que les humains souhaitent embarquer les microbes (et de façon générale, les êtres vivants) dans leurs projets. Elle permet de garder en tête que les êtres vivants sont affectés en permanence par les relations qu'ils entretiennent avec d'autres êtres et avec leurs milieux de vie. L'antibio-résistance, par exemple, c'est-à-dire le fait que les bactéries ne soient plus sensibles à la plupart des antibiotiques dont nous disposons pour nous soigner, peut être vue comme une manifestation de la pluribiose : les microbes réagissent aux projets des humains, et réagissent également à ce que les humains croyaient savoir. Et dans cette histoire, si certains phages peuvent être des alliés dans la lutte contre l'antibio-résistance, d'autres participent activement à la dissémination de gènes de résistance par les relations lysogéniques qu'ils entretiennent avec les bactéries. Rien n'est simple, rien ne peut être facilement réduit, tout doit toujours être situé.

Revenons maintenant à nos collections. J'ai passé du temps à décrire la constitution de celles-ci afin de mettre en évidence à la fois le travail colossal nécessaire à leur élaboration, mais aussi la très grande fragilité, la très grande précarité de ces agencements. Au moment où les collections doivent être utilisées, mises au service des projets de certains humains, et donc changer d'échelle, sortir du laboratoire, être embarquées dans d'autres agencements, la considération de ce travail est plus que jamais nécessaire. Une fois extraites du laboratoire, il est facile d'oublier comment ces collections ont été produites. D'oublier le temps, la patience, les ajustements et les négociations permanentes des *Umwelten* des humains et des microbes. D'oublier que les savoirs qui ont permis de produire ces collections, tout comme les biologies des microbes qui composent ces collections, sont situés. D'oublier également les interactions potentielles de ces entités objectivées avec les milieux dans lesquels elles seront insérées.

Actuellement, il existe une forme de consensus sur la possibilité de développer deux modèles de thérapie, que l'on peut aisément relier à une utilisation différentielle des collections. Dans un texte de 2011, nombre de chercheuses et de chercheurs ont fait valoir une différence entre deux modèles qu'ils ont choisi de nommer « sur-mesure » et « prêt-à-porter », pour défendre un certain nombre de principes et d'arguments qu'ils partageaient, assumant pleinement la non-innocence de leurs savoirs (Pirnay *et al.*, 2011). Le modèle sur-mesure consiste à sélectionner, au sein des collections, des phages très virulents sur la souche bactérienne responsable de l'infection.

Le second modèle, le prêt-à-porter, privilégié dans un premier temps par les start-ups et les agences de réglementation, repose sur le développement de cocktails contenant quelques phages qui montrent une activité sur une grande variété de souches d'une espèce bactérienne donnée. Les collections peuvent aider à identifier ces phages. Ces derniers, mimant l'effet large spectre des antibiotiques, pourraient alors être produits, commercialisés et administrés en masse.

Ces chercheuses et chercheurs n'ont cessé depuis de réitérer leur positionnement en faveur du modèle sur-mesure. Il présente, selon eux, un certain nombre d'avantages en lien avec ce qu'ils ont appris à connaître des potentialités microbiennes. En premier lieu, en n'utilisant que les phages très actifs sur la bactérie responsable de l'infection, on limite sensiblement les risques d'apparition de résistance. En second lieu, en ne ciblant que la bactérie responsable de l'infection, on préserve les bactéries du microbiote humain, dont on sait désormais l'importance dans de nombreux processus physiologiques, génétiques et développementaux (Gilbert *et al.*, 2012). Enfin, plus globalement, en évitant les traitements de masse, on évite également le déversement de quantités importantes de phages dans les écosystèmes plus larges, pour lesquels personne n'est en mesure actuellement de prédire quels pourraient en être les effets.

Si l'approche sur-mesure semble la plus prometteuse, la plus respectueuse également des êtres vivants et de la pluribiose, rien n'est acquis, tout est à définir, et rien ne garantit pour le moment qu'une approche prêt-à-porter ne sera pas développée. D'autant plus que les infrastructures qui sous-tendent l'industrialisation des antibiotiques restent très prégnantes et orientent les choix médicaux, politiques, économiques et réglementaires (Brives, 2022).

Prendre au sérieux la notion de pluribiose, c'est d'abord intégrer le fait que les entités (et pas uniquement les microbes) que les humains embarquent dans leurs projets doivent d'abord être domestiquées (comme les levures de laboratoire ou les phages des collections) mais risquent également, dans les usages qui en seront fait, de s'en trouver transformées. Mais développer une science pluribiotique, c'est aussi se rendre attentive aux conséquences de ces projets. Se demander, en étant portée par une attention aux êtres et aux milieux auxquels nous tenons, comment les entités (non humaines et humaines) avec lesquelles nous travaillons vont en être affectées.

Produire des réponses qui ne contribueront pas au désastre implique de se laisser à notre tour affecter par ce qui arrive aux micro-organismes. Je ne dis pas cela au sens où il s'agirait de doter ceux-ci d'intentionnalités qui, s'ils en ont, nous sont de toute façon inaccessibles. Mais il s'agit de reconnaître que les projets que nous avons, les savoirs que nous produisons, ne sont pas sans conséquences. Il nous faut accepter comme point de départ que l'ensemble des participants à ces alliances sera transformé, et nous rendre responsables, comptables, de ces transformations. Et donc faire en sorte que cette attention aux conséquences s'accompagne de la nécessité de développer d'autres pratiques, de faire d'autres choix, fondés sur des principes qui devraient être discutés collectivement.

## Conclusion

C'est ce type de position, et sa possible effectivité, que j'ai tenté de vous présenter ici, d'abord en revenant sur l'histoire de l'industrialisation des antibiotiques, ensuite en proposant une description située des pratiques de laboratoire que j'ai pu observer et auxquelles j'ai parfois activement participé. Pour finir, je voudrais revenir sur ce contraste que j'ai tenté de mettre en évidence dans les deux parties de cet ouvrage entre « mise au travail » et « travailler avec »<sup>20</sup>, pour tenter une conclusion un peu plus générale sur la façon dont les projets des humains intègrent les êtres vivants humains et non humains.

Le grand geste d'extériorisation de la nature qui a eu lieu au XVI<sup>e</sup> siècle a permis l'exploitation, comme je l'ai rappelé dans la première partie, des êtres vivants, humains et non humains, qui ont été considérés comme des êtres de nature. On peut saisir dans ce geste, que l'on lise les analyses marxistes, les travaux des écoféministes ou les études décoloniales, un point de bifurcation central dans la mise en place par l'Occident de systèmes de domination de classe, de genre et de race. De nombreux travaux convergent aujourd'hui vers la nécessité de dénouer ce que ce moment de l'histoire humaine a entériné.

Une des nombreuses conséquences de cette extériorisation a été mise en évidence, étudiée et analysée par les féministes marxistes, qui ont alors forgé une théorie de la reproduction sociale (à ne pas confondre avec la théorie de la reproduction sociale de Pierre Bourdieu). Elles ont notamment montré comment cette extériorisation s'est d'abord traduite par un rapatriement des femmes dans l'espace domestique, et par la masculinisation de nombreux corps de métiers alors qu'au Moyen-Âge, les femmes étaient présentes dans toutes les

---

20 D'autres descriptions situées, d'autres pratiques, permettent de saisir cette tension. Denis Chartier propose précisément la notion de Déplantationocène pour qualifier le type de pratiques qu'il documente dans la production des vins naturels (Chartier, 2021).

corporations. Une « enclosure » des femmes qui a conduit à l'occultation et à la naturalisation de ce que ces chercheuses ont appelé le travail de la reproduction (Fortunati, 2022 ; Federici, 2017) : la reproduction de la force de travail, faire des enfants, les élever, les éduquer, les nourrir, prendre soin des personnes vulnérables (etc.), voilà qui n'entre pas dans le calcul de la valeur (Federici, 2019 ; Arruzza *et al.*, 2019), et voilà qui devient naturalisé, qui « va de soi ». La reconnaissance et la description du travail de la reproduction par les féministes marxistes a ouvert à une repolitisation de ce travail quotidien. En décrivant ce travail domestique et le rendant de nouveau sensible, elles ont offert une prise morale et politique, elles ont montré que d'autres voix que celle du système dominant pouvaient exister<sup>21</sup>.

On peut, me semble-t-il, proposer avec précautions une extension de cette théorie aux êtres vivants non humains que certains humains exploitent, et ce pour deux raisons. Non seulement parce que les non-humains ont été extériorisés, ce qui a permis leur domination et leur exploitation. Les travaux existants sur le biocapital, la biovaleur et la bioéconomie sont riches de descriptions et de théorisations sur la façon dont la valeur est méthodiquement et systématiquement extraite des processus biologiques eux-mêmes (Helmreich, 2008 ; Cooper, 2008)<sup>22</sup>. Mais aussi parce que c'est précisément cette extériorisation qui a pu conduire à un récit dans lequel l'objectivité scientifique dépendrait d'hommes (cette conception de l'objectivité étant précisément genrée) cultivant le « point de vue de nulle part » sur des objets de nature qui n'auraient pas réellement d'agentivité. D'où une double occultation : l'occultation du travail de la reproduction des organismes eux-mêmes, et le travail d'occultation de la reproduction des

---

21 Pour une synthèse de ces travaux, voir Geneviève Pruvost, *Quotidien politique* (La Découverte, 2021).

22 Voir également le numéro spécial de *Cultural Anthropology*, The naturalization of nature as working (2018), et le numéro spécial de la *RAC* coordonné par Mouret et Lainé, Nature(s) au travail.

faits scientifiques, considérés une fois produits, dans l'ordre de la science faite, comme des universaux. La seconde ne va pas sans la première. Les personnes qui ont travaillé dans les laboratoires de biologie savent à quel point la question de la reproduction est fondamentale quand on travaille avec les êtres vivants.

Les *Science and technology studies* s'emploient depuis plusieurs décennies désormais à rendre sensibles les dispositifs, les infrastructures, les méthodes, les outils, les protocoles, les institutions, les théories, nécessaires ne serait-ce que pour pouvoir travailler avec les êtres vivants (qu'ils soient humains ou non humains). Les ethnographies de laboratoire ainsi que les travaux en histoire des sciences sur les organismes modèles en biologie sont une mine d'informations, de détails, de descriptions sur ce que requiert le fait, presque communément admis aujourd'hui, de disposer d'organismes standardisés afin de mener des recherches commensurables aussi bien dans l'espace que dans le temps. Que l'on parle de souris, de vers nématodes, de levures, de mouches drosophiles, de plantes ou encore de poissons pour ne citer que ces exemples<sup>23</sup>, ce sont chaque fois des agencements, des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être, des matériels, des normes et des standards différents qu'il faut développer pour être en mesure de faire de ces êtres des témoins fiables<sup>24</sup>, susceptibles de répondre à certaines questions, dans certaines dispositions. Chaque jour, il faut alors s'assurer des conditions de reproduction de ces organismes et de leurs moyens de subsistance. Chaque jour des personnes, souvent considérées comme subalternes, souvent des femmes et/ou des personnes racisées, avec des salaires modestes, prennent en

---

23 Voir Ankeny (1997), Clause (1993), Houdart (2008), Kohler (1994), Rader (2004).

24 Un même travail de commensurabilité est nécessaire pour les êtres humains intégrés à un essai clinique ou à tout dispositif visant à générer des connaissances que l'on souhaite reproductibles (Brives, 2013, 2018).

charge cette logistique et ce travail dévalorisé alors qu'il est pourtant fondamental dans la production des savoirs.

Ces organismes standardisés, dont la production et la reproduction sont parfois externalisées et sous-traitées à des entreprises privées (on pense par exemple aux rats et souris de laboratoire, que l'on peut acheter comme du matériel à des sociétés qui se sont spécialisées dans leur production), constituent la condition *sine qua non* de la reproduction des faits scientifiques : dans n'importe quel laboratoire, il est possible de disposer d'organismes considérés comme commensurables, comparables, additionnables ; dans n'importe quel laboratoire, il est possible de reproduire une expérience menée à des milliers de kilomètres et à des jours, des mois ou des années de distance, et de considérer que les résultats des expériences seront comparables. Une équivalence tellement admise que les spécificités des organismes de laboratoire utilisés apparaissent le plus souvent de façon très laconique dans la partie « matériel et méthodes » des articles scientifiques.

Mais poussons encore un peu plus loin la question de la reproduction des faits et des organismes. Dans un article que je considère central dans mon parcours et dans mes réflexions sur la production, la circulation et les usages des savoirs sur les microbes et, plus généralement, sur les êtres vivants, Bruno Latour (1983, p. 155) fait usage d'une métaphore très parlante pour permettre aux lecteurs et lectrices de saisir ce que demande la reproduction des faits hors des laboratoires, en se livrant à une description précise de l'expérience de vaccination d'un troupeau contre le bacille de l'Anthrax menée par Louis Pasteur à Pouilly-le-Fort : « Les faits scientifiques sont comme des trains, ils ne fonctionnent pas sans leurs rails. Vous pouvez prolonger les rails et les connecter entre eux, mais vous ne pouvez pas conduire une locomotive à travers un champ ». Reproduire un fait scientifique à l'extérieur d'un laboratoire requiert la reproduction des conditions de production de ce fait. Dans le cas décrit

par Latour, cela implique de transformer la ferme de Pouilly-le-Fort, dans laquelle Louis Pasteur mène son expérience de vaccination, en une extension de son laboratoire.

Une innovation ne se déploie cependant jamais dans le vide, et donc, pour filer la métaphore de Latour, si nous devons être attentifs à la façon dont la locomotive est construite et les rails posés, il s'agit également de prendre en considération la topographie du sol sur lequel ceux-ci vont reposer. Plus généralement, se pose donc la question des transformations matérielles, sociales, politiques et économiques requises pour permettre la reproduction d'un fait et donc les rapports de force nécessaires pour faire exister des pratiques au sein d'espaces définis. Lorsque ces pratiques reposent sur des infrastructures existantes qu'elles ne compromettent pas, ce travail d'extension, d'ajustements et de négociations passe le plus souvent presque inaperçu. Il est en quelque sorte naturalisé. C'est ainsi qu'il est possible d'oublier la pluribiose, de mettre des microbes dans des incubateurs géants et de disséminer les molécules qu'ils produisent partout où certains humains le jugent nécessaire pour leurs projets et leurs intérêts. Et pourtant, les conséquences, comme nous l'avons vu avec l'antibiorésistance, peuvent être désastreuses. L'analyse des changements d'échelle et des enjeux des projets des humains ne devrait donc jamais être déconnectée du travail quotidien de la production et de la reproduction des faits, et donc des êtres vivants qui sont embarqués dans ces projets.

Mes travaux ethnographiques sur les relations humains-microbes — en me conduisant à élaborer la notion de pluribiose, et donc la reconnaissance des conséquences inévitables qu'aura n'importe quel projet humain embarquant des êtres vivants — m'ont progressivement amenée à une description et à une mise en récit du quotidien des pratiques scientifiques qui visent à rendre compte des systèmes de domination qui les structurent et à assumer pleinement à mon tour l'absence de neutralité, la non-innocence des savoirs que nous produisons.

Étendre la théorie de la reproduction des féministes marxistes aux êtres non humains domestiqués et embarqués dans les projets des humains n'est donc pas une sorte de facilité, de simplification, de réduction, pas plus qu'une dissolution des spécificités de chaque être dans le grand tout « Vivant ». Dans un geste similaire au leur, il s'agit de mettre en évidence le travail nécessaire à la reproduction des micro-organismes, qui constituent une partie de la force de travail dans la production des faits scientifiques, mais également le travail nécessaire à leur reproduction à l'extérieur du laboratoire. Il s'agit de se demander, dans chaque situation, quel type de travail est nécessaire à la subsistance des micro-organismes, mais aussi à la maintenance de la vie de laboratoire, par qui ce travail est effectué, dans quelles conditions et pour quelles fins. Il s'agit de se laisser gagner par la spéculation (précisément parce que, en tant qu'humains, nous ne savons pas, ou seulement partiellement, comment sont affectés les non-humains que nous embarquons dans nos projets) et de proposer d'autres récits.

Non pas celui de petites usines du Capitalocène mises au travail dans des plantations, métaphores qui peuplent désormais les demandes de financement, et qui vantent une économie de la promesse qui constitue une fuite en avant. En proposant de faire digérer tout un tas de polluants par les microbes, non seulement on s'autorise à ne pas questionner les infrastructures et les modèles en place — que l'on parle des pratiques existantes, de la hiérarchisation du travail, de l'organisation et de la structuration de la recherche et même du positionnement des chercheuses et chercheurs dans l'espace public —, mais on s'autorise également à ne pas penser aux conséquences de ces nouvelles possibilités.

Il s'agit donc de développer le récit d'un travail génératif multispécifique, qui puisse offrir de nouvelles prises et permettre d'être attentif à la pluribiose, aux spécificités du travail avec les microbes, aux conditions dans lesquelles il s'exerce, et aux conséquences inévitables de ce travail.

Rendre visible le soin constant à apporter aux microbes pour pouvoir apprendre d'eux et avec eux est primordial, tant pour montrer le coût de l'utilisation des microbes dans ces différents projets, et donc la nécessité de prendre soin des communautés que l'on met au travail<sup>25</sup> — il n'y a pas de ressources infinies qu'il s'agirait d'extraire et d'exploiter sans aucune transformation ni conséquence —, et pour réévaluer ainsi les places et les rôles des humains dans la production des savoirs<sup>26</sup>. En effet, faire des propositions qui ne reconduisent pas les conditions du désastre n'implique pas seulement de porter attention à la façon dont certains humains exploitent les non-humains, ou aux types de projets qui peuvent être développés dans les laboratoires. Cela implique également une attention soutenue aux conditions de travail des personnels et la reconnaissance de l'importance d'un travail souvent considéré comme subalterne. Une attention aux pratiques quotidiennes, aux gestes, aux soins portés aux êtres vivants peut permettre de faire exister, au-delà du moment de déroulement de ces pratiques, des conceptualisations et des mises en relations porteuses de propositions alternatives quant à la façon de penser l'utilisation des microbes. Mais celles-ci ne seront satisfaisantes qu'à la condition de ne pas reconduire d'autres formes d'exploitation et de domination.

Ce sont ces types de récits et les propositions qu'ils contiennent, qu'il s'agira de soutenir et de faire exister en dehors des milieux dans lesquels ils ont émergé. Quelle que soit la crise sur laquelle nous portons notre attention, il n'y a pas, il ne pourra pas y avoir, de solution universelle ou générale. Toute solution qui se présenterait comme univer-

---

25 Voir Puig de la Bellacasa (2015), et notamment ce passage : « Une approche axée sur le soin ne s'intéresserait pas seulement à la manière dont les sols et les autres ressources produisent des biens ou fournissent des services aux humains ; elle s'intéresserait également à la manière dont les humains subviennent aux besoins de la communauté des sols afin d'entretenir, de poursuivre et de réparer ce réseau vivant » (p. 703, traduction de l'autrice).

26 Voir Grote *et al.* (2021), qui abordent notamment la visibilisation des groupes minoritaires dans l'histoire de la biologie moléculaire et ses conséquences possibles.

selle devrait d'ailleurs être considérée avec la plus grande prudence, en nous demandant quelles relations, quelles histoires, quelles échelles, ont été négligées pour obtenir un tel consensus. Il faut être attentive, patiente, se laisser affecter, accepter la non-innocence des savoirs et leurs conséquences sur le monde. Cette vision des choses est plus difficile, car beaucoup plus exigeante. Et surtout, elle implique un travail interdisciplinaire, éthique, interspécifique, collectif. Elle implique de prendre en considération le tissu complexe des relations entre les êtres vivants, le poids des infrastructures, les intérêts du plus grand nombre sans jamais perdre de vue ces questions : à quoi tenons-nous, que négligeons-nous, et sommes-nous prêts à vivre avec les conséquences de ces négligences ?



## Discussion

**Question.** *Vous avez étudié les pratiques ayant pour objectif la phagothérapie. Je crois savoir que les phages ont eu d'autres utilisations scientifiques susceptibles de déboucher sur des innovations. Par exemple, une technique permettant d'intervenir sur un site précis du génome semble aujourd'hui emporter l'adhésion enthousiaste des laboratoires de biologie moléculaire : c'est le CRISPR-Cas9. Pour mettre au point cette technique de génie génétique, Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna, à la suite de nombreux chercheurs, se sont inspirées du mécanisme de protection utilisé par les bactéries contre les phages. Cette technique biomimétique permet de modifier le génome des bactéries, mais aussi celui des champignons, des végétaux et des animaux (dont les humains). Pouvez-vous nous en dire plus et éventuellement évoquer d'autres utilisations des phages en biologie moléculaire ?*

**Charlotte Brives.** L'histoire des phages dans les sciences de la vie est en effet extrêmement fournie, et CRISPR-Cas9 n'est que le dernier exemple d'une longue liste de techniques et de mécanismes que nous devons à l'étude des phages et des interactions phages/bactéries. Si la majorité d'entre nous apprend seulement à les connaître, les phages ont été déterminants dans le développement de la biologie moléculaire. Le Phage Group, réseau informel de chercheuses et de chercheurs qui s'est formé à partir des années 1930 et porté entre autres par Max Delbrück, Alfred Hershey, Martha Chase ou encore Salvador Luria, par les études poussées menées sur les virus bactériophages, a notamment permis des avancées majeures dans la compréhension et la manipulation des acides nucléiques. C'est une expérience menée par Alfred Hershey et Martha Chase en 1952 sur les interactions entre le phage T2 et la bactérie *Escherichia coli* qui a, par exemple, permis de faire la démonstration que l'ADN était le support

de l'hérédité. C'est à Esther Lederberg, l'épouse de Joshua Lederberg honteusement oubliée dans les livres d'histoire des sciences, mais également oubliée par le comité Nobel et son propre mari lorsque ce dernier a reçu le fameux prix, que l'on doit la découverte du phage lambda (*Enterobacteria* phage  $\lambda$ , qui infecte la bactérie *Escherichia coli*) grâce auquel les propriétés lysogéniques des virus ont été mises en évidence. Martha Chase a d'ailleurs souffert de la même invisibilisation, comme de nombreuses autres chercheuses. Cinquante-cinq ans avant Doudna et Charpentier, ce sont André Lwoff, François Jacob et Jacques Monod qui se sont vus récompensés d'un prix Nobel pour leurs travaux sur le modèle de l'opéron et leur description de la structure et de la régulation de l'expression d'un gène, travaux menés sur les phages. Les techniques de clonage ainsi qu'un certain nombre d'enzymes utilisées en routine ont également bénéficié de ce que les scientifiques ont appris des virus bactériophages.

Ce qui est intéressant, c'est précisément cette omniprésence morcelée des phages dans les laboratoires de biologie et la méconnaissance générale dont ils font l'objet. Ils sont devenus une boîte à outils, leurs compétences et leurs potentialités ont été utilisées par les chercheuses et les chercheurs, mais beaucoup de ces derniers ne savent pas qu'ils les doivent aux phages.

**Question.** *Y a-t-il des projets d'utiliser les compétences des phages dans d'autres domaines que thérapeutiques — par exemple dans la chaîne alimentaire — et ont-ils débouché sur des réalisations ?*

**Charlotte Brives.** Ici encore, il est fascinant d'entendre et de lire les histoires multiples dans lesquelles sont pris les phages. L'étude des interactions phages/bactéries s'est rapidement développée dans l'agroalimentaire, principalement dans la filière des produits laitiers, mais plus largement l'ensemble des filières de production reposant sur les processus de fermentation bactérienne. Cela s'explique parce que les

phages, en attaquant les bactéries responsables des fermentations, représentent un danger pour les chaînes de production. Dans ce cas précis, il s'agit plutôt de lutter contre la présence des phages et leur capacité à détruire les bactéries. Mais si l'on combat ainsi les propriétés lytiques des phages, celles-ci sont également utilisées dans d'autres situations. Depuis 2005, la Food and Drug Administration a par exemple autorisé la commercialisation du Listex, une solution à base de phages anti-*Listeria*, qui est vaporisée sur les viandes avant leur mise sous cellophane de façon à prévenir le développement de *Listeria monocytogenes*. D'autres cas de ce type existent en Europe également, par exemple pour permettre la conservation des tomates ou des pommes de terre, et on peut parier que ce type d'utilisation ne fera que croître dans les prochaines années.

Comme je le disais, les phages peuvent potentiellement être utilisés partout où on utilise les antibiotiques, mais aussi, précisément, là où l'utilisation des antibiotiques est impossible, qu'elle soit interdite, ou qu'elle soit inefficace. En Californie, des cocktails de phages sont ainsi désormais utilisés pour traiter la maladie de Pierce, causée par la bactérie *Xylella fastidiosa*, qui attaque les pieds de vigne. On peut tout à fait imaginer dans les prochaines années ou décennies une utilisation plus régulière des phages en biocontrôle, pour traiter les pathogènes des plantes.

Les applications des savoirs sur les phages et les bactéries sont intéressantes parce qu'elles rendent compte de la dimension pluribiotique des relations : parfois les phages sont combattus, d'autres fois ils deviennent des alliés, quelques fois les deux selon que l'on souhaite favoriser une population bactérienne au détriment d'une autre ou bien que l'on ne souhaite la présence d'une espèce bactérienne qu'à un moment précis. Il me semble toutefois important de souligner que c'est précisément en raison de ces compétences pluribiotiques que l'usage des phages doit faire l'objet d'une attention constante et que toute nouvelle application mérite

une discussion approfondie. Il serait à mon sens extrêmement dangereux d'en permettre un usage large et massif précisément du fait de leurs compétences et potentialités.

**Question.** *L'analyse des eaux riches dans lesquelles on identifie des phages ou la transplantation fécale sont des pratiques qui réintroduisent de la biodiversité pour répondre à des problèmes de santé. En quoi ces pratiques sont-elles prometteuses en comparaison de traitements ciblés sur des microbes ou des symptômes identifiés ?*

**Charlotte Brives.** La transplantation de microbiote fécal (TMF) est un cas particulièrement fécond pour la réflexion. En premier lieu, on trouve dans d'autres traditions médicales (comme la médecine chinoise) l'utilisation de selles pour guérir certaines affections. La TMF, si ce n'est sa forme actuelle, n'est donc pas totalement inédite, et s'inscrit dans le mouvement plus général d'une considération accrue pour des approches écologiques des maladies. C'est-à-dire des approches qui traitent par ou avec des milieux spécifiques. Ici, en l'occurrence ceux liés aux microbiotes intestinaux. En second lieu, les résultats obtenus par transplantation fécale pour le traitement des infections à *Clostridium difficile* (pour lesquelles la TMF constitue désormais le traitement de référence) sont époustouflants, efficaces à 90 % (les essais cliniques ont même été arrêtés avant la fin en raison de l'incroyable efficacité de la technique). À tel point que des essais sont en cours pour évaluer l'efficacité de la TMF sur d'autres affections, en lien avec l'avancée rapide des corrélations (et parfois des causalités) entre la composition des microbiotes et certaines pathologies. Mais ici encore, comme pour les phages, il faut se garder de toute approche qui assimilerait la TMF à un agent thérapeutique classique qui agirait spécifiquement sur une cause. Il s'agit ici d'agir sur un milieu — l'intestin d'un patient —, avec une partie des relations complexes et non réductibles à des chaînes de causalité strictes, en mobilisant des éléments engendrés par un autre milieu associé (des selles d'un autre intestin).

Cependant la TMF ne génère pas de profit : elle repose sur des dons de selles. Le coût principal de cette technique, relativement faible, tient d'une part aux analyses biologiques des selles pour s'assurer de l'absence d'un certain nombre de pathogènes (ces analyses sont réglementées), et d'autre part aux moyens humains et matériels nécessaires pour l'acte de transplantation lui-même, au demeurant assez simple. Il suffit en effet de vider les intestins du receveur, puis d'y implanter le nouveau microbiote, soit en avalant une gélule comprenant le transplant, soit en implantant le transplant par voie basse ou haute. Cette technique simple et efficace échappe à la captation des firmes pharmaceutiques. Ces dernières ont donc commencé à travailler d'arrache-pied pour produire des cocktails de bactéries qui miment l'effet de la TMF. Ces cocktails existent déjà aux États-Unis. Ils ont une efficacité moindre que la TMF, mais se prévalent de leur innocuité : des bactéries produites en laboratoire, assemblées en laboratoire, sur des chaînes ultra contrôlées, etc.

On retrouve avec la TMF le même type de questions et de tensions qu'avec la thérapie phagique : la question de la preuve, la standardisation, les conceptions de la maladie, le poids des infrastructures. Vouloir mimer la TMF, comme vouloir faire des cocktails de phages pour mimer les antibiotiques à large spectre procède d'une démarche extractiviste, qui consiste à faire primer les individus (ici les bactéries qui seraient efficaces au sein du microbiote pour traiter l'infection à *Clostridium*) plutôt que le tissu de relations et les dynamiques pluribiotiques. Faire exister des alternatives, dans le cas présent maintenir une pratique dont tout le monde reconnaît l'efficacité mais qui se plie difficilement au marché du médicament et de la biomédecine dans son ensemble, requiert donc, comme pour la thérapie phagique, un travail sur les infrastructures et les réglementations : comment celles-ci contraignent les acteurs et les actrices et les propositions de ces dernières pour faire exister d'autres possibles.

C'est ce travail auquel nous nous attelons désormais avec Alexis Zimmer, en mobilisant nos travaux respectifs, moi sur les phages et les microbiotes, Alexis sur les programmes de collectes de microbiotes au sein entre autres du Global Microbiome Conservancy.

Faire exister des alternatives demande une interdisciplinarité forte, de la patience et de l'humilité, et la nécessité d'articuler des approches, des concepts, des méthodes parfois très différentes.

**Question.** *Vous avez élaboré le concept de pluribiose au sujet de formes de vie simples comme les levures, les bactéries ou les phages, dont les relations peuvent être appréhendées par la biologie moléculaire. Peut-on adapter ce concept aux relations entre des espèces plus complexes, comme les plantes ou les animaux, les unes comme les autres ayant des comportements et des stratégies adaptatives sans modification de leur génome — impliquant même, s'agissant des animaux, des capacités cognitives et émotionnelles ?*

**Charlotte Brives.** Oui, tout à fait, mais pas n'importe comment. Le concept de pluribiose a été forgé à partir des microbes car les temporalités de ces derniers rendent perceptibles les transformations engendrées par les rencontres entre êtres vivants jusque dans leurs gènes. Mais ce concept ne leur est pas spécifiquement attaché. La définition que j'en ai fait, « des spectres relationnels multiples entre des entités toujours en devenir, formées ou transformées par leurs rencontres avec d'autres êtres vivants », ne présume pas du type d'êtres qui entrent en relation, ni de leur nombre ou de leur forme, ni même du type de transformation. Cela ne signifie pas non plus que tout est pluribiose, loin de là. Car toute rencontre n'est pas nécessairement transformatrice. Ce qui va définir le caractère pluribiotique d'un agencement, c'est le caractère transformateur de la rencontre, que cette transformation ait lieu dans la biologie même des individus ou ailleurs, mais sur un mode propre à chaque être. Par ailleurs, les humains

ne sont pas exclus de ces agencements, au contraire. Dans la thérapie phagique, les humains participent pleinement de ces agencements pluribiotiques. Il s'agit même pour eux de tenter de les faire exister face à des infrastructures qui ont fait de l'éradication la solution aux problèmes générés par l'écologie de plantation. De ce point de vue, mais je ne peux ici que spéculer (et serais très intéressée pour en discuter), j'imagine que les personnes qui travaillent à des alternatives agricoles sans pesticides mobilisent les capacités pluribiotiques des êtres vivants et tentent de faire exister des agencements que l'on pourrait qualifier de pluribiotiques.

**Question.** *Les phages ont longtemps été utilisés à des fins thérapeutiques en URSS. Pourquoi des pays comme la France ne s'y sont-ils pas lancés ? Est-ce parce que l'on a considéré que tout ce qui venait de l'URSS ne valait pas tripette ? Ou bien y a-t-il eu blocage de la part des industriels pharmaceutiques lancés dans la production massive des antibiotiques ? Ou cela tient-il aux difficultés que vous avez soulevées quant à la production et la conservation des associations entre un phage virulent et sa souche de bactérie ?*

**Charlotte Brives.** Cette question est centrale, et c'est à elle que je tente de répondre dans *Face à l'antibiorésistance* car c'est précisément la question posée par André, une personne paraplégique souffrant d'infections urinaires récurrentes, rencontrée au début de mon travail sur la thérapie phagique. André a profité d'un voyage à Saint-Petersbourg pour se procurer en pharmacie les phages qu'il ne trouvait pas en France. Quand je l'ai rencontré, il était en colère car l'Agence nationale de sécurité du médicament avait refusé de l'accompagner dans la prise de ces phages russes, pour des raisons réglementaires. Mon livre répond à la colère d'André, et tente de saisir les enjeux du développement de la thérapie phagique et les obstacles auxquels elle est confrontée en France et plus globalement en Europe. La réponse à cette question est donc complexe, mais on peut synthétiser quelques éléments.

Il se trouve que les virus bactériophages étaient inscrits dans le *Vidal* (la bible des médicaments) jusque dans les années 1970. Le problème est qu'ils en ont été retirés, en partie en raison de la disponibilité des antibiotiques, en partie parce que les savoirs sur la thérapie phagique et sur la fabrication des préparations à base de phages se sont plus ou moins perdus faute d'intérêt et de transmission. Ce n'est qu'avec la timide reconnaissance de la résistance bactérienne aux antibiotiques, au début des années 2000 puis plus explicitement à partir de 2013, que la thérapie phagique a de nouveau suscité l'intérêt (même si certains scientifiques n'ont jamais cessé de s'y intéresser et de militer pour son développement).

La sortie du *Vidal* n'est pas anodine. Pour y figurer de nouveau, les phages devront suivre toutes les étapes désormais hautement codifiées du développement d'un médicament, notamment le passage par les différentes phases des essais cliniques. Des essais dont la forme actuelle est issue du développement des antibiotiques. Or le problème est que si les phages et les antibiotiques semblent faire la même chose — tuer des bactéries —, leurs modes d'existence et d'action n'ont rien à voir. Isoler des phages, créer des collections, est central dans le développement de la thérapie phagique, mais le processus le plus long (et donc le plus coûteux) est constitué par la nécessité de répondre aux exigences posées par les réglementations : produire des phages selon les bonnes pratiques de fabrication (BPF, ou GMP en anglais pour *Good Manufacturing Practices*), des standards qui ont été harmonisés entre les États-Unis, l'Europe et le Japon depuis 1994 (mais dont la Russie ne fait pas partie), et qui nécessitent des chaînes de production dédiées ; puis tester l'efficacité et l'innocuité de ces phages dans des essais cliniques. Comme je le disais, ces essais ont été pensés et développés principalement pour tester l'efficacité de molécules chimiques comme les antibiotiques. De nouveau, on saisit ici la prégnance de l'infrastructure antibiotique : les antibiotiques contraignent drastiquement le développement de la thérapie phagique, non

seulement en imposant, par leur existence, ce que doit être un agent anti-infectieux et la façon dont il doit fonctionner, mais également la façon dont les agents anti-infectieux doivent faire la preuve de leur efficacité. Il n'y a rien d'impossible ici, mais il s'agit, pour les acteurs et les actrices de la thérapie phagique, de proposer des essais cliniques qui puissent rendre compte des particularités des phages et de leur mode d'action, mais également des conceptions de l'infection qui se développent à leur contact. Pour donner un exemple, l'éradication de la bactérie pathogène est généralement le critère de jugement principal d'un essai clinique visant à évaluer l'efficacité d'un antibiotique. Pourtant dans un contexte de montée en puissance de l'antibiorésistance et des infections chroniques, les infectiologues privilégient parfois des approches visant non l'éradication, mais le maintien à bas bruit de la présence de la bactérie. Il s'agit alors de tenir compte de ces pratiques dans l'évaluation des thérapies.

Le timide développement de la thérapie phagique résulte aussi du désintérêt total des firmes pharmaceutiques pour les agents anti-infectieux. Depuis plusieurs dizaines d'années, il n'y a en effet quasiment plus de recherche et développement sur ces questions, les entreprises du médicament s'étant tournées vers le traitement des maladies chroniques, beaucoup plus lucratives dans la mesure où celles-ci impliquent des traitements sur le long cours... À cela il faut ajouter l'impossibilité de breveter des phages (on peut breveter des procédés de production), ce qui les rend donc peu attractifs pour des entreprises dont le principal moteur est la recherche du profit. Mais gageons qu'un moyen sera trouvé pour faire du profit, soit en produisant des phages à bas coût, mais en les vendant massivement (avec des conséquences imprévisibles), soit en faisant du sur-mesure vendu à des prix exorbitants, rendant ces traitements inaccessibles aux populations les plus pauvres. D'où l'importance de penser d'autres modèles de développement pour les phages, fondés sur une recherche et une production publiques.

**Question.** *Pour pratiquer la phagothérapie, les sciences et les pratiques de laboratoire ne sont pas seules concernées. Il y a toute une chaîne d'autres acteurs : les industries pharmaceutiques, les hôpitaux, les associations d'usagers, etc. Ne faudrait-il pas aussi pratiquer dans chacun de ces milieux, comme vous l'avez fait dans des laboratoires, une ethnographie des pratiques ?*

**Charlotte Brives.** Si, tout à fait. C'est un travail que j'ai d'ailleurs en partie réalisé et dont je rends compte dans *Face à l'antibiorésistance*, notamment en travaillant avec des infectiologues, pharmaciens et pharmaciennes d'hôpitaux, en rencontrant des représentants des associations d'usagers et d'une start-up. Je me suis en outre rendue à diverses reprises à l'Agence nationale de sécurité du médicament, j'ai participé au Comité scientifique spécialisé temporaire (CSST) sur la phagothérapie de 2019. Il m'a fallu de même mobiliser le travail de juristes. Il me semble que c'est à la condition d'articuler les descriptions et les propositions faites par ces différents acteurs et actrices, que l'on peut rendre compte des divers tensions et agencements dans lesquels les phages sont pris et que l'on peut saisir les enjeux et les obstacles de la thérapie phagique. Ce travail mérite d'être poursuivi dans les prochaines années, et je serai plus qu'heureuse que d'autres collègues de sciences humaines et sociales travaillent à leur tour sur le développement de la thérapie phagique. Les phages sont des entités fabuleuses qui nous conduisent à déplacer un certain nombre de questions et à renouveler la façon dont nous appréhendons le monde. Nous n'avons pas fini d'en entendre parler.

# Références bibliographiques

Anderson W., 2004. Natural histories of infectious disease: ecological vision in twentieth-century biomedical science. *Osiris*, 19, 39-61, <https://doi.org/10.1086/649393>.

Ankeny R., 1997. The Conqueror Worm: An Historical and Philosophical Examination of the Use of the Nematode *Caenorhabditis Elegans* as a Model Organism. *ProQuest Dissertations Publishing*.

Arruzza C., Bhattacharya T., Fraser N., 2019. *Féminisme pour les 99 %, un manifeste*. Paris, La Découverte.

Blanchette A., 2020. *Porkopolis: American Animality, Standardized Life, and the Factory Farm*. Durham et Londres, Duke University Press.

Brives C., 2010. *Des levures et des hommes. Anthropologie des relations entre humains et non-humains dans un laboratoire de biologie*. Thèse de doctorat en ethnologie. Bordeaux, université Victor Segalen.

Brives C., 2013. Identifying ontologies in a clinical trial. *Social Studies of Science*, 43(3), 397-416, <https://doi.org/10.1177/0306312712472406>.

Brives C., 2017. Que font les scientifiques lorsqu'ils ne sont pas naturalistes ? Le cas des levuristes. *L'homme*, 222, 35-56.

Brives C., 2018. The myth of a naturalised male circumcision: heuristic context and the production of scientific objects. *Global Public Health*, 13 (11), 1599-1611, <https://doi.org/10.1080/17441692.2017.1414284>.

Brives C., 2020. Pluribiose. Vivre avec les virus. Mais comment ? *Terrestres*, 14.

Brives C., 2022. *Face à l'antibiorésistance, une écologie politique des microbes*. Paris, Éditions Amsterdam.

Brives C., Le Marcis F., Sanabria E., 2016. What's in a context? Tenses and tensions in evidence-based medicine. *Medical anthropology. Cross-Cultural Studies in Health and Illness*, 35 (5), <https://doi.org/10.1080/1459740.2016.1160089>.

Bud R., 2007. *Penicillin: Triumph and Tragedy*. Oxford, Oxford University Press.

Chartier D., 2021. The Deplantationocene: Listening to Yeasts and Rejecting the Plantation Worldview. In : Brives C., Rest M., Sariola S. (eds.). *With Microbes*. Londres, Mattering Press.

Clarke A., Fujimura J., 1996. *La matérialité des sciences, savoir-faire et instruments dans les sciences de la vie*. Paris, Synthélabo/Les empêcheurs de tourner en rond.

Clause B., 1993. The Wistar rat as a right choice: establishing mammalian standards and the ideal of a standardized mammal. *Journal of the History of Biology*, 26 (2), 329-349.

Colin P., Quiroz L., 2023. *Pensées décoloniales, une introduction aux théories critiques d'Amérique latine*. Paris, Zones.

Cooper M., 2008. *Life as Surplus: Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*. Washington, University of Washington Press.

Despret V., 2012. En finir avec l'innocence. Dialogue avec Isabelle Stengers et Donna Haraway. In : Dorlin E., Rodriguez E. (dir.). *Penser avec Donna Haraway*. Paris, PUF, p. 23-45.

Despret V., 2021. *La danse du cratérope écaillé*. Paris, La Découverte.

Federici S., 2017. *Caliban et la sorcière*. Genève et Marseille, Entremonde/Senonevero.

Federici S., 2019. *Le capitalisme patriarcal*. Paris, La Fabrique.

Ferdinand M., 2019. *Une écologie décoloniale*. Paris, Le Seuil.

Fortun K., 2012. Ethnography in late industrialism. *Cultural Anthropology*, 27 (3), 446-464, <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2012.01153.x>.

Fortunati L., 2022. *L'arcane de la reproduction*. Genève, Entremonde.

Froissart R., Brives C., 2021. Evolutionary biology and regulation of medicines: a necessary « pas de deux » for future successful bacteriophage therapy. *Journal of Evolutionary Biology*, 34 (12), 1855-1866. <https://doi.org/10.1111/jeb.13904>.

Gilbert S., Sapp J., Tauber A., 2012. A symbiotic view of life: we have never been individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87 (4), 325-341, <http://dx.doi.org/10.1086/668166>.

Gradmann C., 2009. *Laboratory Disease: Robert Koch's Medical Bacteriology*. Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Grote M., 2018. Petri dish versus Winogradsky column: a longue durée perspective on purity and diversity in microbiology, 1880s-1980s. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 40 (11), <https://doi.org/10.1007/s40656-017-0175-9>.

Grote M., Onaga L., Creager A.N.H., de Chadarevian S., Liu D., Surita G., Tracy S.E., 2021. The molecular vista: current perspectives on molecules and life in the twentieth century. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 43 (1), <https://doi.org/10.1007%2Fs40656-020-00364-5>.

- Hache É. (dir.), 2016. *Reclaim. Recueil de textes écoféministes*. Paris, Cambourakis.
- Haraway D., 1988. Situated knowledges: the science question in feminism and the privilege of partial perspective. *Feminist Studies*, 14 (3), 575-599, <https://doi.org/10.2307/3178066>.
- Haraway D., 2015. Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin. *Environmental Humanities*, 6 (1), 159-165, <https://doi.org/10.1215/22011919-3615934>.
- Hatfull G., 2015. Dark Matter of the Biosphere: The Amazing World of Bacteriophage Diversity. *Journal of Virology*, 89 (16), 8107-8110.
- Helmreich S., 2008. Species of biocapital. *Science as Culture*, 17 (4), 463-478.
- Houdart S., 2008. *La Cour des miracles. Ethnologie d'un laboratoire japonais*. Paris, CNRS Éditions.
- Kirchhelle C., 2020. *Pyrrhic Progress: The History of Antibiotics in Anglo-American Food Production*. New Brunswick, Rutgers University Press.
- Kohler R., 1994. *Lords of the Fly: Drosophila Genetics and the Experimental Life*. Chicago, University of Chicago Press.
- Landecker H., 2021. La résistance aux antibiotiques et la biologie de l'histoire. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 15 (3).
- Latour B., 1983. Give Me a Laboratory and I Will Raise the World. In : Knorr K., Mulkay M. (eds.). *Science Observed*. Londres, Sage, p. 141-170.
- Lorimer J., 2020. *The Probiotic Planet: Using Life to Manage Life*. Minneapolis, The University of Minnesota Press.
- Margulis L., 1967. On the Origin of Mitosing Cells. *Journal of Theoretical Biology*, 14 (3), 225-274.
- Margulis L., Sagan D., 2002. *L'univers bactériel*. Paris, Le Seuil.
- McNeill J.R., Engelke P., 2014. *The Great Acceleration: An Environmental History of the Anthropocene since 1945*. Cambridge, Harvard University Press.
- Merchant C., 2021. *La mort de la nature. Les femmes, l'écologie et la révolution scientifique*. Marseille, Wildproject.
- Moore J.W., 2017. The Capitalocene, Part I: on the nature and origins of our ecological crisis. *The Journal of Peasant Studies*, 44 (3), 594-630, <https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1235036>.

- Moore J.W., 2018. The Capitalocene, Part II: accumulation by appropriation and the centrality of unpaid work/energy. *The Journal of Peasant Studies*, 45 (2), 237-279, <https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1272587>.
- O'Malley M., 2014. *Philosophy of microbiology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Patel R., Moore J.W., 2018. *Comment notre monde est devenu cheap. Une histoire inquiète de l'humanité*. Paris, Flammarion.
- Paxson H., 2008. Post-Pasteurian cultures: the microbiopolitics of raw-milk cheese in the United States. *Cultural Anthropology*, 23 (1), 15-47, <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2008.00002.x>.
- 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>.
- Pirnay J.-P., De Vos D., Verbeke G., Merabishvili M., Chanishvili N., Vaneechoutte M., *et al.*, 2011. The phage therapy paradigm: prêt-à-porter or sur-mesure? *Pharmaceutical Research*, 28, 934-937, <https://doi.org/10.1007/s11095-010-0313-5>.
- Puig de la Bellacasa M., 2015. Making time for soil: technoscientific futurity and the pace of care. *Social Studies of Science*, 45 (5), 691-716, <https://doi.org/10.1177/0306312715599851>.
- Rader K., 2004. *Making Mice: Standardizing Animals for American Biomedical Research, 1900-1955*. Princeton, Princeton University Press.
- Rosebury T., 1962. *Microorganisms Indigenous to Man*. New York, McGraw-Hill Book Company.
- Sélosse M.-A., 2017. *Jamais seuls*, Paris, Seuil.
- Stengers I., 1993. *L'invention des sciences modernes*. Paris, la Découverte.
- Stengers I., 2009. *Au temps des catastrophes. Résister à la barbarie qui vient*. Paris, La Découverte.
- Stengers I., 2020. *Réactiver le sens commun, lecture de Whitehead en temps de débâcle*. Paris, La Découverte.
- Tsing A., 2022. *Proliférations*. Marseille, Wildproject.

*Dans la même collection*

**Science et émotion. Le rôle de l'émotion  
dans la pratique de la recherche**

E. Petit, 2022, 80 p.

**Gouverner la biodiversité  
ou comment réussir à échouer**

V. Devictor, 2021, 82 p.

**Du comportement végétal  
à l'intelligence des plantes ?**

Q. Hiernaux, 2020, 96 p.

**Des choses de la nature et de leurs droits**

S. Vanuxem, 2020, 116 p.

**Les harmonies de la Nature à l'épreuve  
de la biologie. Évolution et biodiversité**

P.-H. Gouyon, 2020, 86 p.

**Climatiser le monde**

S.C. Aykut, 2020, 82 p.

**La permaculture ou l'art de réhabiter**

L. Centemeri, 2019, 152 p.

**De la protection de la nature au pilotage  
de la biodiversité**

P. Blandin, 2019, 182 p.

**Gouverner un monde toxique**

S. Boudia, N. Jas, 2019, 124 p.

Achévé d'imprimer en février 2024



Les scientifiques utilisent régulièrement les microbes pour leurs recherches. Ils en négligent cependant souvent la richesse et les potentialités d'actions et de réactions, notamment dans leurs tentatives de les contrôler ou de les éradiquer. L'antibiorésistance, fléau sanitaire encore largement sous-estimé, illustre particulièrement bien les conséquences de la « mise au travail » massive des microbes pour la fabrication d'antibiotiques, par un capitalisme industriel. Ce constat est le point de départ de la réflexion menée dans cet ouvrage : la production et l'utilisation des savoirs scientifiques ne sont pas indépendantes des conditions dans lesquelles ces savoirs sont obtenus. Concernant les microbes, l'autrice montre l'importance de prendre en compte les relations enchevêtrées et en constantes évolutions qui les lient aux sociétés humaines, et plus généralement qui lient les êtres vivants entre eux. Ce qu'elle décrit comme étant la pluribiose.



*CHARLOTTE BRIVES est anthropologue des sciences et de la santé, chargée de recherche au CNRS au sein du Centre Émile Durkheim. Ses recherches portent sur les relations entre humains et microbes dans la production, la circulation et l'utilisation des savoirs scientifiques, depuis les laboratoires jusqu'aux réglementations sur les produits de santé en passant par les essais cliniques. Elle a publié, aux éditions Amsterdam, Face à l'antibiorésistance, une écologie politique des microbes.*

9,50 €

ISBN : 978-2-7592-3881-1

ISSN : 1269-8490

