

Université de Montréal

**« L'ingénierie de la biologie » : une analyse des représentations du vivant portées
par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse**

Par

Éloïse M Tanguay

Département de sociologie
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de maîtrise en sociologie

Octobre 2023

© Éloïse M Tanguay, 2023

Université de Montréal
Département de sociologie, Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé

**« L'ingénierie de la biologie » : une analyse des représentations du vivant portées
par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse**

Présenté par

Éloïse M Tanguay

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Sara Teitelbaum

Présidente-rapporteuse

Céline Lafontaine

Directrice de recherche

Élisabeth Abergel

Membre du jury

Résumé

Ce mémoire traite des représentations du vivant portées par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Domaine technoscientifique en pleine expansion, elle a comme objectif de fabriquer des entités biologiques détenant une application commerciale. En plus de ses visées économiques, les promoteurs de la biologie de synthèse annoncent qu'elle constitue une solution aux enjeux engendrés par la crise écologique. Ce type de promesse étant moins étudié par la sociologie des sciences et des technologies, ce présent mémoire fera lumière sur cet enjeu. Je montrerai que la biologie de synthèse s'inscrit dans le modèle bioéconomique qui implique une mise en ressource à large échelle globale des processus biologiques. L'imaginaire de la biologie de synthèse reconduit ainsi une double promesse : poursuivre le modèle de développement industriel tout en évacuant les limites écologiques qui s'y posent. Avec une analyse des discours médiatiques et publicitaires relatifs aux promesses écologiques de la biologie de synthèse, je démontrerai que son imaginaire s'appuie sur une représentation machinique et informationnelle du vivant. Par le fait même, cette analyse montrera que la volonté de mettre les processus biologiques en ressource se décline elle-même en deux tendances. D'une part, le vivant est posé dans les termes d'une matière première inerte et malléable. D'autre part, il est représenté comme une entité active qui peut être mise au travail. L'imaginaire de la biologie de synthèse relève donc d'une radicalisation de la volonté d'englober les processus biologiques dans la production industrielle. Les promesses écologiques de ce domaine apparaissent subordonnées à cette visée.

Mots-clés : biologie de synthèse, bioéconomie, croissance verte, technosciences, promesse, imaginaire sociotechnique, métaphore

Abstract

This thesis focuses on the representations of the living carried by the sociotechnical imaginary of synthetic biology. Synthetic biology is a fast-growing technoscientific field whose main objective is to manufacture biological entities with commercial applications. In addition to its economic aims, promoters of synthetic biology claim that it represents a solution to the challenges posed by the ecological crisis facing contemporary societies. As this type of promise is less studied by the sociology of science and technology, this thesis will shed light on this issue. I will show that synthetic biology is part of the bioeconomy, which proposes the large-scale transformation of biological processes into valuable resources. The imaginary of synthetic biology thus makes a double promise : to continue the industrial development model while bypassing its ecological limits. Through an analysis of media and advertising discourse relating to the ecological promises of synthetic biology, I will demonstrate that its imaginary underpins a machine-like, informational representation of living matter. Furthermore, this analysis will show that the desire to turn biological processes into resources underlies two trends. On the one hand, living matter is posited in terms of an inert, malleable raw material. On the other, it is represented as an active entity that can be put to work. The sociotechnical imaginary of synthetic biology thus reflects a radicalization of the desire to incorporate biological processes into industrial production. The ecological promises of this field appear subordinate to this aim.

Keywords : synthetic biology, bioeconomy, green growth, technosciences, promise, sociotechnical imaginary, metaphor

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Remerciements	ix
Introduction	8
Chapitre I - Biologie de synthèse et biodiversité : enjeux, tensions et contradictions dans les représentations du vivant	16
1. Définir la biologie de synthèse	17
1.1. Portrait global.....	17
1.2. Un projet d'instrumentalisation du vivant	24
1.3. Une logique de mise en ressource du vivant.....	27
2. Angle mort	30
3. Cadre d'analyse.....	33
3.1. Les imaginaires sociotechniques.....	33
3.2. L'angle des métaphores	37
Chapitre II - L'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse....	43
1. Le régime technoscientifique : socle de l'imaginaire de la biologie de synthèse.	43
1.1. Le régime technoscientifique conjugué à la crise écologique	46
1.2. Croissance verte, bioéconomie et biologie de synthèse : des imaginaires imbriqués.....	47
2. Retour sociohistorique : les représentations du vivant derrière l'imaginaire de la bioéconomie	50
2.1. Un modèle d'ingénierie appliqué au vivant.....	50
2.2. Le vivant comme ressource dans l'imaginaire de la bioéconomie	63
2.3. La double promesse de la bioéconomie	69

2.4. Synthèse du retour sociohistorique	71
3. Retour vers la biologie de synthèse.....	73
3.1. Radicalisation de l'ingénierie du vivant	76
3.2. La logique industrielle de la biologie de synthèse	80
3.3. L'économie de la promesse	83
Chapitre III - La démarche méthodologique.....	87
1. L'objet de recherche.....	87
1.1. Le phénomène social et les discours étudiés.....	87
1.2. Définir l'objet de recherche : le rapport au vivant sous l'angle des métaphores	88
2. La construction des données sociologiques.....	90
2.1. Identification et description du matériau d'analyse	91
2.2. L'analyse sémantique de contenu discursif	104
2.3. Localisation des discours	106
2.4. La mise en relation de l'objet de recherche et du matériau d'analyse	108
Chapitre IV - L'analyse.....	110
1. La persistance des métaphores machiniques et informationnelles du vivant .	111
1.1. La métaphore du vivant-machine.....	111
1.2. La métaphore du vivant informationnel.....	113
1.3. La mise de l'avant d'une logique de contrôle.....	116
1.4. Autres métaphores : complexité biologique et limites au contrôle.....	119
2. La mise en ressource du vivant dans l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse	124
2.1. Le vivant comme matière première	124
2.2. Caractère néguentropique, croissance verte et mise en ressource	126
3. La mise au travail du vivant dans l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse	130
3.1. Le vivant comme entité productrice	131
3.2. Le vivant en tant que puissance dans les discours publicitaires	133

3.3. La mise au travail du vivant à travers son ingénierie.....	135
3.4. La mise au travail du vivant à travers son amélioration	138
3.5. Caractère néguentropique, croissance verte et mise au travail	140
4. Conclusion préliminaire : le vivant entre mise en ressource et mise au travail	142
Conclusion.....	144
Bibliographie	149

À mes parents, Paul et Julie

Remerciements

Je souhaite avant tout témoigner de ma plus profonde gratitude envers ma directrice de recherche, Céline Lafontaine. Son support, ses conseils et ses enseignements auront été indispensables à l'ensemble de mon parcours de maîtrise. Au-delà de la réalisation de ce mémoire, les échanges que j'ai eu la chance d'avoir avec cette professeure et chercheuse ont fortement stimulé mes réflexions ainsi que mon esprit critique. Sa passion pour la recherche a constitué pour moi une source d'inspiration précieuse. Je la remercie également pour l'opportunité d'auxiliariat de recherche qu'elle m'a offerte.

Je tiens également à remercier Jean-François Bissonnette et Christopher McAll dont les enseignements et les échanges m'ont été grandement enrichissants au long de mon parcours à l'Université. Les cours suivis, les séminaires, les discussions ainsi que les assistanats d'enseignement ont parsemé ces années académiques de réflexions fort stimulantes.

Un merci incalculable à mes parents pour tout leur support. Avoir des parents qui ont dédié leur vie à l'enseignement présente plusieurs avantages pratiques (les relectures de ce présent mémoire, par exemple). Plus fondamentalement, toutefois, ils m'ont inculqué, dès mon plus jeune âge, une précieuse curiosité intellectuelle qui m'anime toujours aujourd'hui. Toujours dans le plaisir, j'ai acquis des expériences qui m'ont donné soif de découvrir le monde qui m'entoure. Merci pour votre générosité et votre soutien inconditionnels, je vous en suis infiniment reconnaissante.

Un dernier merci à Félix et Laurence, mes chers colocataires et meilleurs amis dont la présence tout au long de ces années de maîtrise m'a été capitale. Merci pour les discussions, les rires et les traditions que nous avons partagés de la Beauce jusqu'à Montréal.

Introduction

La crise écologique, engendrée par les perturbations climatiques à l'échelle globale, se dresse incontestablement comme l'un des principaux défis auxquels les sociétés du XXI^e siècle ont à faire face. Les modes de vie contemporains, jusque dans leurs conditions de possibilité même, sont en voie d'être radicalement bouleversés par des phénomènes dont on voit déjà les signes alarmants : épuisement des ressources naturelles, sécheresses, pollution de l'air et des sols, montée des eaux, baisse des rendements agricoles, perte de la biodiversité, catastrophes naturelles, etc. Les impacts de cette crise sont planétaires et irréversibles. Ils ont lieu à l'échelle globale et s'inscrivent dans la temporalité longue de la géologie¹, établissant ainsi une condition commune à l'ensemble de l'humanité (Chakrabarty, 2009). Plusieurs scientifiques, des sciences naturelles comme des sciences sociales, utilisent la notion d'« Anthropocène »² pour qualifier cette condition et en saisir la portée. Elle réfère à une nouvelle ère géologique causée par les transformations que les humains ont exercées sur la terre ; l'être humain est ainsi la première espèce détenant une force géophysique³ affectant l'ensemble des processus terrestres (Bonneuil et Fressoz [2013] 2016 ; Chakrabarty, 2009 ; Crutzen, 2002). D'origine anthropique, les débuts et les causes de cette nouvelle ère diffèrent selon les analyses⁴. Or, il en ressort généralement que le modèle de développement industriel globalisé, fondé sur l'extraction et l'exploitation d'une quantité toujours plus grande de ressources naturelles (notamment des ressources fossiles) grâce au développement technique, est indissociable de la crise écologique (Tordjman, 2021). Les conséquences de ce modèle de développement menacent désormais

¹ La temporalité géologique réfère aux processus terrestres qui ont lieu sur une échelle de temps très vaste comparativement à la temporalité de l'existence humaine. L'Anthropocène implique que, pour une première fois, l'Humain influence ces processus (Chakrabarty, 2009).

² C'est au tournant des années 2000 que le géochimiste Paul J. Crutzen, récipiendaire du prix Nobel de chimie en 1995, a forgé la notion d'Anthropocène. En tant que tel, c'est un concept scientifique qui réfère à l'âge planétaire qui suit l'Holocène. Après plusieurs millions d'années où la composition atmosphérique a été relativement stable, des phénomènes nouveaux, notamment l'émission massive de dioxyde de carbone, auraient causé une rupture significative et globale sur les processus du système Terre (Crutzen, 2002).

³ L'être humain est le premier agent biologique étant aussi devenu agent géologique (Chakrabarty, 2009).

⁴ En sciences sociales, les origines sociohistoriques de la crise écologique font débat. Par exemple, certains les situent au développement du capitalisme marchand autour du XVI^e et du XVIII^e siècle, à la première Révolution Industrielle au XVIII^e ou encore à la Grande Accélération ayant suivie la Deuxième Guerre mondiale. À ce sujet, voir Bonneuil et Fressoz ([2013] 2016), Bonneuil (2015) et Chakrabarty (2009).

les conditions de vie de l'ensemble des espèces terrestres (Chakrabarty, 2009). Gouvernements, mouvements sociaux, milieux académiques, scientifiques et organisations non gouvernementales tentent, tant bien que mal, de s'attaquer à ce problème dont on saisit encore mal toutes les retombées (Larrère, 2015). Récemment, en décembre 2022, à Montréal, la 15^e Conférence des Parties (COP15)⁵ sur le climat a réuni les représentants de 196 pays afin de déterminer des mesures pour protéger la biodiversité. « Ces objectifs demanderont [...] un véritable changement transformationnel, des innovations et une prise en compte adéquate de la vraie valeur de la nature dans les prises de décisions dans tous les secteurs » (Gouvernement du Canada, 2023). Résonnant avec le discours écologiste ambiant, les défis auxquels la COP15 tente de répondre sont colossaux puisqu'ils remettent en cause le mode de développement industriel sur lequel s'appuient les sociétés contemporaines. Lors de son allocution à la COP15, le Secrétaire Général des Nations Unies, António Guterres affirmait qu'il fallait « s'attaquer aux causes profondes » de la « destruction » de la biodiversité (Organisation des Nations-Unies (ONU), 2022). « Les subventions préjudiciables, les investissements néfastes, les systèmes alimentaires non durables et, de manière générale, les modes de consommation et de production » (ONU, 2022) étaient pointés du doigt dans un événement réunissant des représentants gouvernementaux et d'organisations non gouvernementales, mais aussi des représentants de multinationales (TotalEnergies, British Petroleum, groupe Louis Vuitton Moët Hennessy (LVMH)), d'institutions financières et économiques (BNP Paribas, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), Forum Économique Mondial (FEM)) et de lobbys (CropLife, International Fertilizer Association)⁶ (Convention sur la diversité biologique, 2022a ; CDB, 2022b ; Cameron, 2022 ; Décarie, 2022). Fait à première vue étonnant, certaines des discussions tenues lors de cet événement concernaient les plus récents développements technologiques en matière de modification du vivant. La biologie de synthèse, un domaine dont l'objectif global est de « fabriquer du vivant », figurait dans les enjeux discutés. Les recommandations issues de la COP15 prônent l'adoption d'un « processus d'analyse prospective, de suivi et d'évaluation élargi et

⁵ La COP15 est une initiative de l'ONU et a pour but d'atteindre les objectifs de la Convention sur la diversité biologique (CDB) signée en 1992 (ONU, s.d.).

⁶ Ils étaient entre autres réunis lors des discussions du « Business and Biodiversity Forum » et du « Finance and Biodiversity day » (CDB, 2022a ; CDB, 2022b).

régulier » des développements dans ce domaine (Programme des Nations-Unis pour le développement, 2022a). Si cette mesure entend gérer les potentiels risques environnementaux reliés aux innovations de la biologie de synthèse, il faut souligner que ce domaine amène une série d'enjeux plus profonds qui concernent notre rapport au vivant.

Dans le contexte alarmant et complexe des bouleversements environnementaux, la biologie de synthèse est posée comme une solution à la crise écologique. Ce domaine en pleine expansion appartient au champ plus vaste des biotechnologies, dont la visée générale est de manipuler le vivant afin de produire des applications dans divers secteurs (Lafontaine, 2014a). À travers l'application de principes d'ingénierie, les biologistes de synthèse entendent créer leur objet, tel que l'a fait la chimie de synthèse au XIXe siècle (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011). Il est donc question de « fabriquer du vivant de toutes pièces » (Calvert, 2010 : 1) et non plus d'en modifier certaines parties. Fruit de la vieille ambition « de maîtrise de la matière et de la vie » (Maestrutti, 2011 : 81), ce domaine implique l'application d'un contrôle sophistiqué sur le vivant. Parfois qualifiées de prochaine « révolution industrielle », les applications qui en découleraient semblent illimitées et couvriraient plusieurs secteurs : santé, énergie, industrie, agroalimentaire (Hellsten et Nerlich, 2011 ; Tamminen et Deibel, 2019). Elle s'inscrit ainsi dans la bioéconomie, soit un modèle fondé sur le développement à large échelle des biotechnologies. Néanmoins, ses promoteurs assurent que ses applications permettront de réduire la pollution industrielle, de dépolluer l'environnement, voire de créer une biodiversité artificielle (Redford et Adams, 2021). Ainsi sont annoncés, par exemple : des biocarburants, des bactéries modifiées pour dégrader des produits polluants, des composés chimiques produits par des organismes modifiés, des cultures agricoles rendues plus résistantes aux changements climatiques, etc. (Redford et Adams, 2021). Ce type de projections tend à assimiler la biologie de synthèse à une « durabilité environnementale » qui serait nécessairement bénéfique aux sociétés contemporaines (Karabin, Mansfield et Frow, 2021).

De manière analogue, dans plusieurs discours économiques, politiques, mais aussi populaires, il est annoncé que les solutions à la crise écologique proviendront des

innovations scientifiques et technologiques (Larrère, 2015). Cette façon d’appréhender l’avenir repose sur une foi envers la toute-puissance des sciences et des technologies (Larrère, 2015 ; Tordjman, 2021). À l’heure où les conséquences du modèle de développement industriel, rendu possible par l’innovation technique, sont indéniables, cette perspective doit toutefois être remise en question. Pour en prendre le contrepied, il apparaît primordial d’interroger les solutions scientifiques et technologiques proposées à la crise écologique. Celles-ci – tout comme la crise elle-même – sont le fruit de multiples décisions politiques, économiques et sociales qu’il faut soumettre à l’analyse (Bonneuil et Fressoz, [2013] 2016). En ce sens, il m’apparaît important d’analyser sociologiquement la biologie de synthèse puisqu’elle implique le projet radical de « transformer la biologie en discipline d’ingénierie » (Calvert, 2010 ; Hilgartner, 2015). Il s’avère pertinent de mettre au jour les intérêts politiques, sociaux et économiques qui permettent et orientent son développement. Bien que de nombreux penseurs de la sociologie des sciences et des technologies se soient penchés sur ces questions, un angle mort persiste dans la littérature actuelle. En fait, il semble que les promesses en matière d’écologie formulées par les promoteurs de la biologie de synthèse restent peu analysées.

Dans ce mémoire, mon objectif global sera donc d’éclairer le rapport au vivant véhiculé par la biologie de synthèse, dans le contexte de ses promesses écologiques, ainsi que les dimensions sociales qui façonnent ce rapport. Autrement dit, il s’agit de se demander comment la volonté de contrôler et de manipuler en profondeur la « vie en elle-même » peut être valorisée à l’heure même où l’on s’inquiète du futur de la vie sur terre. Pour y répondre, je propose de relever l’« imaginaire sociotechnique » de la biologie de synthèse. Conceptualisée de la sociologue Sheila Jasanoff, cette notion implique les manières, partagées au sein d’une collectivité, d’envisager un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4) et atteignable par certains développements scientifiques et technologiques (Jasanoff, 2015). Également, je propose d’approcher cet imaginaire sous l’angle des métaphores puisqu’elles nous informent du rapport au vivant qu’il sous-tend. Les questions qui guideront ma recherche sont donc les suivantes :

1- Comment la biologie de synthèse a-t-elle pu devenir un projet désirable au sein des sociétés contemporaines? Quel est son cadre social, politique et économique d'émergence et de développement?

2- Quelles représentations du vivant l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse véhicule-t-il? Quelles ont été leurs conditions sociales, politiques et économiques de possibilités?

3- Comment ces représentations sont-elles connectées aux visées à la fois économiques et écologiques de l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse? Comment ces deux visées différentes s'articulent-elles entre elles? Quel rapport au vivant sous-tendent-elles?

Mon hypothèse centrale est que l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse reconduit une double promesse qui est au cœur de l'imaginaire de la bioéconomie et qui se formule ainsi : l'exploitation économique du vivant permettrait de poursuivre la croissance économique illimitée propre au modèle de développement industriel tout en dépassant les limites écologiques qui se posent actuellement à cette croissance. Il ne s'agit donc pas de repenser les modes de production et de consommation, mais plutôt de les recentrer autour des entités biologiques. Conçu selon les métaphores machiniques et informationnelles, le vivant semble pouvoir être soumis à un contrôle poussé permettant de le transformer en une ressource malléable et exploitable. Pour développer ces propos, je devrai d'abord réaliser un retour sociohistorique qui permettra d'identifier les métaphores qui se retrouvent au cœur de l'imaginaire de la biologie de synthèse. De plus, je réaliserai une analyse de discours afin d'analyser empiriquement ces métaphores et le rapport au vivant qu'elles nourrissent.

Dans le chapitre I, il s'agira d'abord de définir la biologie de synthèse ; ses débuts, son développement, ses principes centraux, ses principales orientations ainsi que ses applications. Ensuite, il faudra la situer dans le paysage contemporain des sciences du vivant en s'appuyant sur des travaux en sociologies des sciences et des technologies. Je

montrai que la biologie de synthèse s'inscrit dans la culture épistémique des technosciences puisque la volonté de développer des innovations techniques est au cœur de ce domaine. Surtout, ces applications sont tournées vers la recherche de profits économiques. Dès lors, comme je l'expliquerai, les développements de la biologie de synthèse doivent être appréhendés à la lumière du modèle bioéconomique. De manière générale, ce chapitre permettra de mettre en lumière le cadre épistémique et politico-économique de l'imaginaire de la biologie de synthèse. À ce stade, j'insisterai sur l'importance d'analyser les promesses en matière d'écologie formulées par les promoteurs de ce domaine. Avant de me pencher plus en profondeur sur cette question, je clarifierai le cadre analytique employé. Il s'agit du cadre de l'imaginaire sociotechnique vu sous l'angle des métaphores du vivant qu'il véhicule. Lors de cette partie, je m'appuierai notamment sur les travaux de Jasanoff ainsi que sur ceux de George Lakoff et Mark Johnson.

Pour amorcer le deuxième chapitre, j'expliquerai comment la biologie de synthèse peut être perçue comme un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4) à l'heure de la crise écologique. Ce domaine s'appuie d'abord et avant tout sur l'imaginaire du progrès technoscientifique qui détient des racines sociohistoriques profondes. De plus, il s'inscrit dans l'imaginaire de la bioéconomie et l'imaginaire de la croissance verte qui sont quant à eux reliés au contexte de la seconde moitié du XXe siècle. Je les retracerai notamment grâce aux travaux d'Hélène Tordjman et de Céline Lafontaine. L'imbrication de ces imaginaires est fondamentale pour comprendre comment la biologie de synthèse est posée comme une solution à la crise écologique. Plus exactement, cela permet de comprendre comment l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse permet de concilier à la fois des promesses économiques et écologiques. À travers une analyse des représentations du vivant ayant été au cœur des sciences biologiques de l'après-Deuxième Guerre mondiale, je mettrai en relief les racines sociohistoriques du rapport au vivant sous-tendu par l'imaginaire de la biologie de synthèse. Tout au long de cette partie, je montrerai comment ces représentations se sont articulées à leur contexte politico-économique. Constituant une conception centrale aux sciences du vivant, la métaphore machinique du vivant est nécessaire pour comprendre l'application d'un modèle d'ingénierie au vivant (Nicholson, 2013). Cette métaphore est reformulée, mais aussi consolidée, par la

métaphore informationnelle. En mettant en évidence cette dernière, je soulèverai que les organismes, depuis la biologie moléculaire des années 1950, ont été compris en termes d'échanges d'informations. Emprunté à la cybernétique, le lexique informationnel a participé à mettre de l'avant le rôle déterminant de la génétique ainsi que la capacité du vivant à échapper à l'entropie. En retraçant le contexte politico-économique du tournant néolibéral des années 1980, je montrerai que cette conception du vivant a été connectée à la volonté de le mettre en ressource. Selon une logique hautement promissoire, la « vie en elle-même » a été perçue comme une source de profits économiques à l'heure où le modèle industriel fordiste montrait ses limites. Pour appuyer mes propos, je reprendrai ici les thèses de Melinda Cooper, Céline Lafontaine ainsi que Sunder Kaushik Rajan. Enfin, pour conclure mon deuxième chapitre, je retournerai vers la biologie de synthèse afin de montrer que les métaphores du vivant identifiées lors du retour sociohistorique y sont réarticulées et radicalisées. J'expliquerai aussi que, en accord avec l'imaginaire de la bioéconomie, la volonté première est toujours de poursuivre le modèle de développement industriel.

Après cet apport théorique, je passerai à mon chapitre méthodologique. Celui-ci servira à détailler la démarche, soit l'analyse de contenu discursif, qui orientera ma recherche empirique. Je délimiterai mon terrain de recherche qui sera constitué de discours provenant d'articles de presse ainsi que de sites Web d'entreprises de biologie de synthèse. J'explicitai comment j'ai construit mes données en identifiant et en localisant les documents analysés. Par la suite, je détaillerai l'analyse de contenu ainsi que la position interprétative qui me permettront d'analyser les métaphores retrouvées dans les discours étudiés. Finalement, j'exposerai la grille d'analyse employée pour la lecture des documents.

Dans le chapitre IV, je procéderai à l'analyse empirique des métaphores du vivant identifiées dans les discours médiatiques et publicitaires. À cet effet, je dépendrai d'abord la persistance des métaphores machiniques et informationnelles du vivant dans les documents soumis à l'analyse. J'exposerai qu'elles sont surtout connectées à une logique de contrôle. En ce sens, elles résonnent avec le fait que la biologie radicalise la volonté d'exercer un contrôle précis et prévisible des organismes vivants. Le reste de ce chapitre

cherchera à démontrer que les métaphores du vivant sous-tendent deux types de rapport au vivant différents, mais étroitement liés. D'une part, l'imaginaire de la biologie de synthèse est traversé par la volonté de mettre en ressource les entités biologiques afin de poursuivre le développement industriel sans le transformer. Les métaphores les assimilant à des matières premières inertes témoignent bien de cette tendance. Or, d'autre part, plusieurs discours posent le vivant comme une potentielle entité productive, voire une force de travail. Dans ces cas, l'accent est mis sur la puissance et le caractère productif du vivant. S'il s'agit de deux ensembles de métaphores distincts, ils s'appuient tous les deux sur une logique de contrôle et une valorisation des capacités néguentropiques du vivant. De plus, ils sont fortement liés à l'imaginaire de la bioéconomie et à celui de la croissance verte. Ils sont ainsi indissociables de la volonté de poursuivre la croissance économique du modèle industriel et de, secondairement, dépasser ses limites écologiques.

Chapitre I - Biologie de synthèse et biodiversité : enjeux, tensions et contradictions dans les représentations du vivant

En annonçant l'ambitieux projet de « fabriquer du vivant de toutes pièces » (Calvert, 2010 : 1), la biologie de synthèse transforme radicalement notre rapport au vivant. Le projet de construire des organismes de manière intentionnelle et contrôlée perturbe nos conceptions de la vie biologique. Plus que jamais, la frontière entre vivant et artifice se voit déstabilisée par ces nouvelles capacités de manipulation acquises par l'humain. Ce type de transformation doit se lire à la lumière du développement du vaste champ des biotechnologies, dont la biologie de synthèse représente l'un des plus récents avatars. Les biotechnologies se définissent par la manipulation technique des processus biologiques dans le but de développer des produits qui ont une utilité dans les secteurs de la santé, de l'agriculture, de l'énergie et de l'industrie (OCDE, 2009). Suscitant un intérêt grandissant de la part des institutions politiques et économiques, le XXI^e siècle a vu se multiplier les annonces en grande pompe de l'avènement d'une « ère biologique » ou encore d'une « biorévolution » à l'échelle globale (Bayer, 2023 ; FEM, 2021 ; Horizons de politiques Canada, 2018 ; OCDE, 2009). Selon un narratif analogue, la biologie de synthèse devrait provoquer un « nouvel âge de la biologie »⁷ (Tamminen et Deibel, 2019). À travers un contrôle sophistiqué du vivant, ce domaine cherche à produire des applications variées : nouveaux médicaments, biomatériaux, produits chimiques biosourcés, nouveaux types de cultures agricoles, etc. En plus des retombées économiques, les promoteurs de la biologie de synthèse soutiennent que ces innovations constituent une réponse à la crise écologique. En effet, l'idée radicale de créer des entités biologiques inédites est posée comme une solution à une série d'enjeux écologiques : épuisement des ressources, pollution, diminution des rendements agricoles, contamination d'écosystèmes, etc. Pour y remédier, les biologistes de synthèse proposent de fabriquer des biocarburants, des micro-organismes décontaminant les milieux pollués, des cultures agricoles plus résistantes, des produits chimiques « verts », etc.

⁷ Entre autres, l'éminent biologiste de synthèse Georges Church a fait cette annonce (Tamminen et Deibel, 2019).

À l'heure où on s'inquiète des conséquences des activités industrielles sur l'ensemble des espèces et des écosystèmes, cette promotion enthousiaste des biotechnologies peut sembler discordante. Or, en réalité, elle est portée par une part toujours plus importante des institutions scientifiques, politiques et économiques à l'échelle globale. Cela s'explique en partie par le fait que les discours promoteurs de la biologie de synthèse s'ancrent solidement dans l'histoire des sciences du vivant de la deuxième moitié du XXe siècle. De plus, ils s'inscrivent dans le modèle bioéconomique développé vers le début du XXIe. L'objectif de ce présent chapitre sera de mettre en lumière ces deux dimensions. Avant tout, il faudra poser une définition plutôt technique de la biologie de synthèse. Le but sera de détailler comment un modèle d'ingénierie est appliqué au vivant. Suivant les travaux en sociologie des sciences et des technologies, il s'agira ensuite de situer la biologie de synthèse dans le paysage des biotechnologies contemporaines. Pour ce faire, je montrerai d'abord que ce domaine s'inscrit dans les transformations de la culture épistémique des sciences du vivant depuis le milieu du XXe siècle. Deuxièmement, il faudra expliquer comment elle reconduit la logique de mise en ressource du vivant caractéristique de la bioéconomie. Ayant soulevé ces deux dimensions, je pourrai mieux problématiser les promesses de la biologie de synthèse en matière d'écologie.

1. Définir la biologie de synthèse

1.1. Portrait global

1.1.1. Émergence

L'émergence de la biologie de synthèse est souvent associée aux premières constructions de « réseaux » et de « circuits » génétiques⁸ réalisées lors de l'an 2000⁹

⁸ Ces « constructions » sont réalisées à partir de la manipulation d'ADN (acide désoxyribonucléique). L'ADN forme les gènes qui participent au processus de production des protéines d'un organisme vivant (Génome Québec, s.d.).

⁹ Cette année-là, dans la prestigieuse revue *Nature*, trois articles établissant les fondements théoriques et pratiques du domaine ont été publiés. Un premier article, rédigé par Michael B. Elowitz et Stanislas Leibler, présentait la synthèse d'un dispositif oscillateur dans la bactérie *Escherichia coli*. Celui-ci faisait en sorte que la bactérie émettait un clignotement lumineux à une intermittence régulière. Le deuxième article, paru dans *Nature*, expliquait la construction d'un interrupteur génétique, encore une fois dans la bactérie *E. coli*. Timothy Gardner, Charles Cantor et James Collin ont montré qu'il était possible de fabriquer des réseaux

(Bensaude-Vincent et Benoît-Browaeyns, 2011 ; Morange, 2009). Sa consolidation et son institutionnalisation en tant que domaine autonome sont situées à l'année 2004. À ce moment, des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont organisé la conférence Synthetic Biology 1.0, premier rassemblement international visant à regrouper des chercheurs venus de différents milieux (biologie, informatique, ingénierie) autour de ce nouveau domaine. Les organisateurs, dont les figures phares sont Drew Endy et Tom Knight, désiraient réunir des chercheurs dont les projets consistaient à :

1. design and build biological parts, devices and integrated biological systems,
2. develop technologies that enable such work, and
3. place this scientific and engineering research within its current and future social context. (OpenWetWare, s.d.)

Depuis, la définition et les contours de la biologie de synthèse se sont précisés. Elle constitue désormais un domaine autonome réunissant une communauté de chercheurs, des centres de recherches, des programmes de formation, des événements rassemblant ses membres ainsi que des journaux académiques (Raimbault, Cointet et Joly, 2016). Le Engineering Biology Research Consortium¹⁰ (EBRC), une importante organisation américaine stimulant le développement du domaine, la définit ainsi : « La biologie de synthèse est le design et la construction d'entités biologiques nouvelles comme des enzymes, des circuits génétiques, des cellules ou le re-design d'entités biologiques déjà existantes »¹¹ (EBRC, s.d. [ma traduction]¹²). Déjà, cette définition indique que la biologie de synthèse est d'abord « une pratique orientée vers l'action » (Heams, 2011 : 554). Son objectif ambitieux est de « fabriquer de toute pièce » des systèmes vivants dotés de

synthétiques régulant l'expression de certains gènes. Finalement, quelques mois plus tard, toujours dans la revue *Nature*, Attila Becskei et Luis Serrano présentaient aussi l'introduction d'un circuit génétique simple dans *E. coli*. Ce travail a permis de mieux décrire les principes d'auto-régulation d'une cellule dans le but de faire la synthèse de ces derniers (Bensaude-Vincent et Benoît-Browaeyns, 2011). Somme toute, l'approche de ces trois articles était résolument axée vers la construction d'entités biologiques. Sous ce chef, ils ont introduit en biologie certains concepts autrefois réservés aux disciplines d'ingénierie traditionnelles (*design*, architecture réseautique, circuits, etc.) (Dan-Cohen, 2016).

¹⁰ Cette organisation publique et privée favorise la collaboration entre plusieurs chercheurs, laboratoires et entreprises afin de développer la biologie de synthèse. L'EBRC a été mis en place par des membres du Synthetic Biology Engineering Research Center (SynBERC). Financé par la National Science Foundation (NSF), ce dernier avait comme objectif de favoriser la collaboration entre les chercheurs ainsi qu'entre les laboratoires et l'industrie. Actif lors des débuts de la biologie de synthèse (2006-2016), sa mission a été reprise par le EBRC (EBRC, s.d.).

¹¹ Cette définition est similaire à celle donnée par d'autres grandes institutions telles que : la Royal Society (Royaume-Uni), l'OCDE et le FEM (The Royal Society, s.d. ; OCDE, 2010 ; FEM, s.d.).

¹² « Synthetic biology is the design and construction of new biological entities such as enzymes, genetic circuits, and cells or the redesign of existing biological systems » (EBRC, s.d.).

certaines fonctionnalités. Le besoin de mettre au point des entités biologiques qui ont une utilité est généralement mis au premier plan : « Les chercheurs et les compagnies du domaine de la biologie de synthèse autour du monde exploitent le pouvoir de la nature pour résoudre des problèmes en médecine, en industrie [manufacturing] et en agriculture » (National Human Genome Research Institute, 2019 [ma traduction]). Cette fin pratique de la biologie de synthèse s'accorde en tout point avec son projet affiché de faire « l'ingénierie de la biologie » (Finlay, 2013 : 26). En effet, elle propose d'appliquer de manière explicite, intentionnelle et systématique des principes d'ingénierie à l'élaboration d'entités biologiques artificielles (Finlay, 2013 ; Frow, 2020 ; Morange, 2009 ; Rimbault, Cointet et Joly, 2016).

1.1.2. Principes d'ingénierie

La posture d'ingénierie adoptée en biologie de synthèse résonne avec les principes de la chimie de synthèse du XIX^e siècle. La synthèse chimique a permis de faire évoluer significativement la chimie qui, auparavant, se concentrait sur l'analyse des composés. À partir du XIX^e siècle, les chercheurs, en effectuant des réactions chimiques, ont créé de nouveaux composés. Cela a fait avancer la discipline en plus de générer de nombreuses applications pour l'industrie. Inspirée de cette approche, la biologie de synthèse tente elle aussi de construire son objet (Bensaude-Vincent, 2013). On doit ici faire remarquer que l'adoption d'une posture d'ingénieur dans les sciences du vivant n'est pas propre à la biologie de synthèse. À cet égard, on peut penser au génie génétique qui propose de modifier les organismes en coupant, supprimant, introduisant ou remplaçant des séquences de gènes. Cela étant dit, les promoteurs de la biologie de synthèse entendent carrément « faire de la biologie une discipline d'ingénierie » (Calvert, 2010 ; Hilgartner, 2015). Tout comme les génies informatique, électrique ou mécanique, la biologie de synthèse permettrait la conception et la construction efficace de systèmes complexes. Dans cette perspective, il est possible de soutenir que ce domaine pousse à l'extrême l'adoption d'une posture d'ingénieur en biologie. D'ailleurs, les fondements de la biologie de synthèse, formulés notamment par Endy, s'inspirent directement de l'ingénierie microélectronique et informatique et mettent l'accent sur trois principes : la standardisation, le découplage et l'abstraction (Bensaude-Vincent, 2013). La standardisation correspond à l'identification et

la caractérisation uniformes de composés biologiques. Ce principe est à l'origine des BioBricks, bien connues au sein du domaine. Celles-ci constituent des séquences d'ADN standardisées et mises à la disposition de tous les chercheurs via un registre accessible en ligne. Décrites comme des « briques biologiques » ou comparées à des blocs Lego, elles doivent être interchangeable afin d'être assemblées entre elles. Pour ce faire, les BioBricks doivent être composées d'une séquence d'ADN simple correspondant à une fonction (par exemple : la production d'une protéine ou encore une fonction de régulation cellulaire) (Aguiton, 2018). Le deuxième principe, le découplage, implique la division du travail en opérations indépendantes les unes des autres. Dans cette optique, le design (modélisation) d'un système biologique et sa fabrication doivent constituer deux étapes distinctes. Pour mener leurs projets, les biologistes de synthèse adoptent souvent la démarche d'ingénierie « design-build-test-repeat » (modélisation-construction-essai-répétition) jusqu'à obtenir le produit désiré (Roosth, 2017). Selon Endy, ce principe permet de prévoir, de simplifier et d'automatiser le processus de construction d'un système biologique complexe (Bensaude-Vincent et Benoît-Browaëys, 2011 ; Calvert, 2013). Finalement, le principe d'abstraction postule que les biologistes de synthèse doivent décomposer leur travail en plusieurs niveaux de complexité. Comme en microélectronique, il faut partir des éléments les plus simples (l'ADN) avant de les intégrer à un système plus complexe (génomel¹³, cellule, organisme) (Aguiton, 2018 ; Mackenzie, 2013). En décomposant et en masquant certains phénomènes, l'abstraction devrait permettre une « mise en boîte noire » de la complexité biologique (Dan-Cohen, 2016 ; Frow, 2020). Dans l'ensemble, l'application de ces trois principes devrait permettre de « transformer la biologie en discipline d'ingénierie » (Calvert, 2010 ; Hilgartner, 2015) :

These principles would together enable synthetic biologists to produce increasingly powerful systems, themselves built of subsystems, that depend not on whatever genes and organisms evolution happens to have produced but on components specifically shaped to achieve human purposes. (Hilgartner, 2015 : 41-42)

1.1.3. Hétérogénéité du domaine

¹³ Le génome est l'ensemble des gènes d'un organisme (Larousse, s.d.c).

Si ce bref survol permet de cerner l'objectif et les principes centraux de la biologie de synthèse, il faut remarquer qu'elle possède des frontières relativement floues. C'est un domaine multidisciplinaire qui regroupe des chercheurs, des concepts, des méthodes et des outils provenant de secteurs variés : génétique, biochimie, informatique, mathématiques (Heams, 2015 ; Morange, 2009). Les projets entrepris sont eux aussi hétérogènes en termes de visées, de méthodes et d'outils¹⁴ (Raimbault, Cointet et Joly, 2016). Alors que plusieurs biologistes de synthèse cherchent à synthétiser de l'ADN pour l'insérer dans une cellule, d'autres tentent plutôt de créer un génome ou une cellule minimale¹⁵ (O'Malley et al., 2007). Une autre approche, moins populaire, a comme objectif de créer des formes de vie parallèles (formées de bases d'ADN qui ne se retrouvent pas dans la nature)¹⁶ (Acevedo-Rocha, 2016). En plus de ces divergences, plusieurs penseurs montrent qu'il y a un fossé entre l'aspect programmatique des principes d'ingénierie et la réalité complexe du laboratoire. Au sein de celui-ci, le vivant « fait surface » de manière parfois imprévisible et incontrôlable (Frow et Calvert, 2013 ; Heams, 2011). L'échec de plusieurs projets à véritablement faire la synthèse d'une entité biologique¹⁷ en témoigne. De surcroît, c'est souvent le succès instrumental qui est important plutôt que le respect des principes d'ingénierie. Plusieurs formes de « bricolage » par essais-erreurs ont lieu dans les laboratoires du domaine¹⁸ (Finlay, 2013 ; Frow et Calvert, 2013 ; Gelfert, 2013 ; Vaage,

¹⁴ Plusieurs auteurs reprennent la catégorisation de la philosophe des sciences Maureen O'Malley et ses collègues. Ils montrent l'existence de trois approches différentes au sein du domaine ainsi que les projets, les méthodes et les principaux chercheurs qui y sont associés. Malgré tout, plusieurs échanges se font entre ces approches ; elles ne sont pas isolées les unes des autres. La première approche est la construction basée sur l'ADN (*DNA-based device construction*). C'est l'approche la plus populaire. Elle consiste à faire le *design* et la construction de systèmes biologiques à partir de séquences d'ADN standardisées. Deuxièmement, la construction de génomes (*genome-driven cell engineering*) implique la synthèse d'un génome entier puis sa transplantation dans une cellule. La dernière approche, la création de protocellules (*protocell creation*) est la moins populaire. Elle cherche à construire des systèmes cellulaires minimaux afin de déterminer les conditions qui ont permis l'émergence de la vie. Certains chercheurs de cette approche cherchent aussi à construire des « châssis » qui pourraient être utilisés par les chercheurs des deux autres approches (O'Malley et al., 2007).

¹⁵ Un génome ou une cellule minimale implique de déterminer les « composants de base » qui permettent à l'entité de survivre de manière autonome. Tout composant jugé « non nécessaire » doit être enlevé (O'Malley et al., 2007).

¹⁶ Cette sous-branche de la biologie de synthèse est parfois appelée « xénobiologie ».

¹⁷ Le biologiste Thomas Heams souligne certaines dimensions qui sont insuffisamment prises en compte et qui limitent les ambitions des biologistes de synthèse : le fragile équilibre des génomes, la complexité des interactions entre les gènes ainsi que le caractère aléatoire de certains processus cellulaires (voir Heams, 2011).

¹⁸ Massimiliano Simons fait une remarque pertinente à ce sujet. Il définit cinq types d'ingénierie identifiables en biologie de synthèse, soit l'ingénierie en tant que : science appliquée, méthodologie, pratique, ruse ou

2020). C'est pourquoi quelques biologistes de synthèse soutiennent qu'il n'est tout simplement pas possible de véritablement appliquer des principes d'ingénierie au vivant (Calvert, 2013). Il n'en demeure pas moins que la plupart des chercheurs réitèrent l'importance de ces principes dans leurs discours (Frow et Calvert, 2013). En effet, l'ingénierie est présentée comme un idéal vers lequel la biologie de synthèse tend et qu'elle atteindra un jour (Calvert, 2013 ; Finlay, 2013 ; Vaage, 2020). Alors, si, matériellement, les principes d'ingénierie sont actuellement difficilement applicables aux organismes biologiques, il faut noter qu'ils ont un impact significatif sur l'orientation du domaine (Heams, 2011).

1.1.4. Applications

Malgré l'hétérogénéité et les limites associées au projet de « faire l'ingénierie du vivant », il reste que le domaine a connu un essor important depuis le début des années 2000, et de manière plus intensifiée à partir de 2010 (Raimbault, Cointet et Joly, 2016). Quelques annonces phares ont retenu l'attention. Jay Keasling et sa start-up Amyris Inc. sont à l'origine de l'innovation la plus connue de la biologie de synthèse : la production d'acide artémisinique (utilisé dans un médicament contre le paludisme). Ce produit est traditionnellement obtenu à partir de la plante *Artemisia annua* (Heams, 2011). Sa production via la biologie de synthèse en fait, « d'après ses auteurs, une source de traitement antimalarial économiquement viable, obtenue de manière “écologiquement responsable”, non soumise aux aléas “climatiques ou politiques” » (Heams, 2011 : 576). Les principales autres innovations hautement médiatisées reviennent à Craig Venter, chercheur controversé et connu pour son rôle dans le séquençage du génome humain au tournant des années 2000¹⁹. Les annonces de Venter et de son institut (le J. Craig Venter Institute (JCVI)) se sont succédé. En 2008, ils ont annoncé la toute première synthèse d'un génome (celui de la bactérie *Mycoplasma genitalium*). En 2010, lui et son équipe ont

design (cette dernière est la plus populaire dans les discours autour de la biologie de synthèse). Simons soutient qu'il est erroné d'affirmer que la biologie de synthèse est en tension entre une approche d'ingénieur et une approche axée vers le « bricolage » (*kludging, tinkering*). C'est plutôt différents types d'ingénierie qui sont en tension (Voir Simons (2020)).

¹⁹ Venter et sa compagnie Celera Genomics avaient proclamé réaliser le séquençage avant l'effort international du Projet Génome Humain (financé par la National Institute of Health (NIH)). Ils ont finalement annoncé avoir réalisé le séquençage complet du génome humain conjointement en 2000 (Stevens et Newman, 2019).

réalisé la fabrication de la première cellule synthétique, appelée JVC1-syn1.0²⁰. En 2016, ils ont mis au point Syn3.0, un génome synthétique de seulement 473 gènes (Jalinière, 2017). D'autres innovations actuellement en développement retiennent l'attention : des protéines laitières synthétisées en laboratoire, une soie d'araignée issue de l'ingénierie d'une levure, des plantes d'intérieur devant purifier efficacement l'air (Hecketsweiler, 2018 ; Lelievre, 2022 ; Simard, 2022). Toutefois, c'est surtout au niveau de ses projections pour le futur que la biologie de synthèse attire l'attention. Elles annoncent que les innovations produites transformeront radicalement une foule de secteurs (énergétique, médical, agroalimentaire, manufacturier, pharmaceutique, etc.). Suscitant toujours plus d'attention de la part des gouvernements, des investisseurs, des médias et du public, ses promoteurs déclarent qu'une « révolution » est en marche. Ils promettent l'élaboration d'une myriade d'entités biologiques qui répondront aux besoins des sociétés contemporaines : nouveaux médicaments, biocarburants, matériaux ou produits chimiques bio-sourcés, cultures agricoles inédites, etc. Pour saisir la radicalité de son projet, il faut toutefois souligner que la biologie de synthèse ne promet pas qu'une série circonscrite d'innovations (Frow, 2020). Le biologiste de synthèse français François Képès le montre bien en affirmant que :

dans la biotechnologie traditionnelle, c'est principalement le savoir-faire d'une personne ou d'une équipe qui peut être recyclé. Tandis que la biologie de synthèse s'attache à concevoir et à optimiser des solutions génériques aux problèmes biotechnologiques. Elle bâtit un socle de concepts et de techniques d'ingénierie qui peuvent être réutilisés. (Képès, 2015)

Établissant les fondements de l'« ingénierie de la biologie », le domaine s'engage à fournir les outils d'une instrumentalisation du vivant à large échelle. Dans cette optique, la biologie de synthèse serait susceptible de dynamiser toutes les industries (Frow, 2020 ; Kearnes, 2013). Les organismes élaborés doivent pouvoir

alterner de la production de carburants et d'autres produits chimiques pouvant être utilisés dans des produits du domaine de la santé, de l'alimentaire et des cosmétiques. Cette mobilité ou capacité de changer de direction rapidement est la promesse au coeur de la biologie de synthèse. (Mackenzie, 2013 : 86 [ma traduction])

²⁰ Ils ont d'abord fait la synthèse du génome de la bactérie *Mycoplasma mycoides*, puis ils l'ont transplanté dans *Mycoplasma capricolum* (Acevedo-Rocha, 2016).

1.2. Un projet d'instrumentalisation du vivant

Le projet d'instrumentaliser le vivant à large échelle, rendu possible par l'adoption d'un modèle d'ingénierie, mérite une attention particulière. Comme le notent plusieurs auteurs, cela induit une relation particulière entre le *savoir* et le *faire* (Fox Keller, 2009 ; Roosth, 2017 ; Schyfter, 2020 ; Vaage, 2020). Se distançant décidément de la posture d'observateur des sciences du vivant traditionnelles, la biologie de synthèse ne cherche pas – ou pas seulement – à décrire, comprendre et expliquer les phénomènes biologiques. Sur ce point, il est éloquent que l'énoncé « ce que je ne peux pas créer, je ne peux pas le comprendre » (Heams, 2013) soit invoqué par plusieurs biologistes de synthèse, au point d'en devenir leur slogan (Calvert, 2013). Formulée en 1988 par le prix Nobel de physique Richard Feynman, sa réappropriation traduit une posture épistémique particulière (O'Malley et al., 2007). Elle exprime la volonté de fusionner, au sein d'un même domaine, les connaissances théoriques de la biologie et un projet d'ingénierie (Calvert, 2013). À l'image de la chimie de synthèse du XIXe siècle, la biologie de synthèse devrait idéalement faire avancer simultanément le savoir théorique et le développement d'applications concrètes (Heams, 2011). Paru en 2004, l'article fondateur « A partnership between biology and engineering » du biologiste Roger Brent insiste sur ce croisement entre science et ingénierie. Plus exactement, le chercheur y explique que la biologie de synthèse doit s'appuyer sur les connaissances théoriques de la biologie des systèmes. Au sein de cette dernière, les chercheurs s'intéressent à l'ensemble d'un organisme et aux interactions entre ses parties. Leur travail théorique se fait en partie via des modèles quantitatifs qui ont pour but de comprendre et prévoir le comportement des systèmes biologiques. Selon Brent, les biologistes de synthèse doivent opérationnaliser ces connaissances théoriques. Cela doit rendre possibles « le design et la construction de systèmes qui présentent un comportement dynamique complexe, un comportement logique, la capacité d'exister dans plusieurs états ou la capacité d'exécuter un petit nombre d'étapes programmées » (Brent, 2004 : 1213 [ma traduction]). L'article de Brent montre que, si les connaissances théoriques de la biologie sont nécessaires, elles restent toutefois subordonnées à la dimension opérationnelle du domaine. Cette primauté de la volonté d'instrumentaliser le vivant est mise en lumière par plusieurs penseurs des sciences sociales (Calvert, 2013 ; Heams, 2011 ; Mackenzie, 2013

; Schyfter, 2020 ; Tamminen et Deibel, 2019). Dans son étude sur la biologie de synthèse, le sociologue britannique Pablo Schyfter a montré que les connaissances y sont élaborées, définies et valorisées selon les fonctions pratiques qu'elles permettent d'accomplir (Schyfter, 2020). En somme, avec le projet de « faciliter l'ingénierie de la biologie »²¹(Frow, 2020 : 1038 [ma traduction]), le savoir doit ultimement servir à des fins instrumentales. « Le savoir est le moyen pour arriver à une certaine fin, et non une fin en soi, pour les ingénieurs » (Calvert, 2013 : 408 [ma traduction]).

Cette visée résolument instrumentale doit être replacée dans la trajectoire des sciences du vivant de la deuxième moitié du XXe siècle. Considérant la relation entre le *savoir* et le *faire* relevée dans les dernières pages, la plupart des auteurs des sciences sociales placent la biologie de synthèse dans la culture épistémique des technosciences (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaeyns, 2011 ; Flocco et Guyonvarch, 2019 ; Fox Keller, 2009 ; Hilgartner, 2015 ; Müller, 2016 ; Roosth, 2017). L'avènement des technosciences correspond à un changement de régime de savoir dans la période suivant la Deuxième Guerre mondiale. Alors que la science moderne analysait et représentait certaines lois de la nature, c'est désormais l'innovation technique qui constitue la visée et le moteur de la recherche (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaeyns, 2011 ; Flocco et Guyonvarch, 2019). Selon la thèse de la philosophe et historienne des sciences Bernadette Bensaude-Vincent, les technosciences forment une nouvelle entité complexe et plurielle :

Est remise en cause l'autonomie de la connaissance comme activité gratuite qui a sa fin en elle-même. Est pareillement remise en cause l'autonomie de la technologie comme étude et production d'objets techniques individualisés, indépendamment de leurs usages économiques ou sociaux. (Bensaude-Vincent, 2009 : 81)

Dans le champ des sciences du vivant, cette transformation coïncide avec l'arrivée de techniques d'intervention poussée sur les organismes biologiques. En permettant le développement de méthodes de manipulation du vivant au niveau fondamental, la biologie moléculaire²² des années 1950 et, à sa suite, le génie génétique, ont joué un rôle crucial dans l'ensemble de ces transformations. Je reviendrai, dans le deuxième chapitre, sur les

²¹ « make biology easier to engineer » (Frow, 2020 : 1038).

²² Cette discipline étudie l'organisation et le fonctionnement des processus biologiques au niveau moléculaire (Larousse, s.d.a).

impacts de ces disciplines sur nos manières de concevoir le vivant. Pour l'instant, il suffit de noter qu'elles ont profondément modifié le paysage des sciences biologiques. L'historien des sciences Hans-Jörg Rheinberger le résume ainsi : « Il ne s'agit plus d'une représentation extracellulaire de processus intracellulaires, c'est-à-dire la "compréhension" de la vie qui importe, mais plutôt la représentation intracellulaire d'un projet extracellulaire, c'est-à-dire la "réécriture" délibérée de la vie » (Rheinberger, 2008a : 25 [ma traduction]).

Le génie génétique, apparu vers les années 1970-80, illustre de manière exemplaire le passage à la culture épistémique technoscientifique décrite par Rheinberger. Ce domaine recouvre un ensemble de techniques et d'outils de modification génétique. Ce type d'intervention permet de comprendre la fonction biologique de certains gènes²³, mais aussi de les modifier dans le but de doter un organisme de certaines caractéristiques ou encore de traiter certaines maladies. La biologie de synthèse hérite à la fois des techniques du génie génétique (séquençage, modification et synthèse d'ADN) ainsi que du projet d'instrumentaliser le vivant. Néanmoins, en plaçant l'ingénierie au cœur même de son identité, la biologie de synthèse radicalise ce projet (Finaly, 2013 ; Fox Keller, 2009 ; Vaage, 2020). À la différence du génie génétique, elle n'a pas pour objectif la modification ou le transfert d'une seule séquence génétique. Elle implique plutôt la synthèse de systèmes de gènes, de génomes, de cellules ou même d'organismes entiers (O'Malley et al., 2007 ; Pelletier, 2018). Ainsi, selon les dires des biologistes de synthèse, elle relèverait d'un véritable travail d'ingénierie là où le génie génétique relèverait d'un travail d'artisan. (Calvert, 2013 ; Schyfter et Calvert, 2015). Ce domaine est vu comme « la transition entre le travail inefficace d'un bricoleur [tinkerer] vers le travail efficace d'un ingénieur » (Morange, 2009 : 23 [ma traduction]). Selon ses promoteurs, l'heure serait non plus aux techniques imprécises de bricolage, mais bien à la modélisation et la fabrication précises, prévisibles, efficaces et rationnelles d'entités biologiques.

²³ En supprimant un gène et en observant les effets de cette suppression, les chercheurs peuvent identifier quelle(s) fonction(s) sont associées à ce gène.

1.3. Une logique de mise en ressource du vivant

Si les précédentes pages ont mis en lumière les changements d'ordre épistémique entraînés par l'avènement des technosciences, il faut aussi remarquer qu'elles s'accompagnent de dimensions politico-économiques. En effet, la visée opérationnelle des technosciences est nécessairement imbriquée au monde social ; elle répond à des besoins, des normes, des valeurs et des intérêts partagés au sein d'une société. Comme l'a brillamment développé Bensaude-Vincent, cela témoigne des relations étroites entre les secteurs scientifique, politique et économique. De plus en plus, la science et la technique se plient aux intérêts économiques et politiques contemporains²⁴ (Bensaude-Vincent, 2009). La sociologue Sara Angeli Aguiton fait ressortir cette dimension dans le contexte des sciences biologiques :

Dans les années 80, les sciences du vivant deviennent « technosciences », au sens où s'y tissent des liens toujours plus étroits entre connaissance, pouvoir et agir technique, mais aussi en tant qu'elles deviennent un domaine d'intérêts, de financements et de retombées industrielles. (Aguiton, 2018 : 15)

Le vaste secteur des biotechnologies s'inscrit pleinement dans ces transformations. Bien qu'elles soient souvent associées à la biomédecine²⁵, elles dépassent en réalité largement ce champ. Isoler, manipuler et modifier le vivant devrait servir à l'élaboration de divers produits : médicaments, matériaux, composés chimiques, aliments, carburants, etc. (Lafontaine, 2014a ; Sunder Rajan, 2012). Cette exploitation des organismes vivants serait éventuellement en mesure de dynamiser l'ensemble de la croissance économique (Cooper, 2008). En ce sens, elle constitue un nouveau modèle de développement appelé la « bioéconomie ». Il convient d'exposer ce modèle puisqu'il constitue le cadre politico-économique de la biologie de synthèse. En le mettant au jour, je démontrerai que la bioéconomie institue et consolide une mise en ressource à large échelle du vivant.

Le modèle bioéconomique s'est constitué autour des biotechnologies vers la fin du XXe et du début du XXIe siècle. Il se définit comme « l'application des biotechnologies à

²⁴ Dans le prochain chapitre, je reviendrai plus en détails sur le contexte sociohistorique de ces transformations. Voir le chapitre II, section I : « Le régime technoscientifique : socle de l'imaginaire de la biologie de synthèse ».

²⁵ On peut penser aux annonces de la mise en place d'une médecine prédictive et préventive, personnalisée ainsi que régénératrice dans les prochaines décennies (OCDE, 2009).

la production primaire, à la santé et à l'industrie » (Lafontaine, 2014b : 31, citant OCDE, 2009). Pour ses promoteurs, la transition vers un modèle bioéconomique implique deux postulats. D'abord, comme je viens de le mentionner, ce sont les biotechnologies, développées à une échelle industrielle, qui garantissent cette transition. Deuxièmement, la bioéconomie garantirait la poursuite de la croissance économique capitaliste (Hausknost et al., 2017). Pour les sociétés industrielles, elle représente « une chance d'engendrer une croissance économique nouvelle et durable et d'accroître la compétitivité dans une économie globalisée » (Hausknost et al., 2017 : 4 [ma traduction]). La mise en ressource des processus biologiques permettrait de dynamiser l'ensemble des secteurs de production des sociétés industrielles. Dans le rapport fondateur *La Bioéconomie à l'horizon 2030. Quel programme d'action?*, émis par l'OCDE en 2009, on envisage, par exemple, « d'améliorer le bétail commercial » (OCDE, 2009 : 122), la production de biomatériaux, des bioraffineries²⁶ faisant usage de biomasse, de nouvelles cultures agricoles et des biocarburants (OCDE, 2009). Le rapport stipule que ce modèle de développement est en mesure de répondre aux défis qui se présentent au mode de production industrielle contemporain :

Les pays de l'OCDE, tout comme les pays en développement, vont être confrontés à une série de défis sociaux, économiques et environnementaux dans les deux décennies à venir. Portée par la hausse des revenus, en particulier dans les pays en développement, la demande de soins médicaux, de produits agricoles, de produits de l'exploitation forestière et de produits de la pêche va augmenter. [...] Les biotechnologies offrent des solutions techniques qui permettent de résoudre nombre de problèmes de santé et de ressources auxquels le monde est confronté. (OCDE, 2009 : 23)

Le modèle prôné par l'OCDE a rapidement envahi la scène internationale lors de la dernière décennie²⁷. Récemment, l'important rapport *The Bio Revolution* du McKinsey Global Institute (MGI) rapportait que « 60% de la production²⁸ mondiale pourrait provenir de moyens biologiques » (Chui et al., 2020 : viii). Ce document de 200 pages estime

²⁶ L'OCDE définit une bioraffinerie comme « une installation dans laquelle la biomasse est convertie en carburants, énergie ou produits chimiques. [...] En principe, les bioraffineries diffèrent des raffineries de pétrole par leur capacité à utiliser un éventail comparativement plus large de matières premières » (OCDE, 2009 : 88-89).

²⁷ Le rapport de l'OCDE a notamment été suivi par les rapports *National Bioeconomy Blueprint* (gouvernement américain) et *L'innovation au service d'une croissance viable: une bioéconomie pour l'Europe* (Commission européenne) en 2012 (Lafontaine, 2014b).

²⁸ Le rapport utilise l'expression « *physical input* » (« entrée physique ») et fait référence à l'ensemble de la production mondiale (agricole, énergétique, chimique, pharmaceutique, industriel, etc.) (Chui et al., 2020)

également que ces innovations vont générer un marché annuel de 2 à 4 trillions de dollars américains d'ici 2030-2040 (Chui et al., 2020)²⁹. Ouvrant de nouveaux marchés, les promesses d'un développement bioéconomique n'ont pas cessé de se multiplier (Martin et al., 2020). Dès lors, la « mise en valeur des processus biologiques est en voie de devenir le nouveau paradigme de l'économie globalisée » (Lafontaine, 2014b : 31).

La biologie de synthèse s'inscrit pleinement dans le modèle bioéconomique qui vient d'être survolé. Elle fait d'ailleurs partie des « plates-formes technologiques »³⁰ principales présentées dans le rapport de l'OCDE (OCDE, 2009). En fait, l'émergence du projet « de transformer la biologie en discipline d'ingénierie » peut être lue comme une volonté de dynamiser et d'accélérer les innovations biotechnologiques (Mackenzie, 2013). Pour le comprendre, on peut reprendre l'affirmation de Képès mentionnée plus haut : « la biologie de synthèse s'attache à concevoir et à optimiser des solutions génériques aux problèmes biotechnologiques. Elle bâtit un socle de concepts et de techniques d'ingénierie qui peuvent être réutilisés » (Képès, 2015). Selon cette perspective, elle doit stimuler l'ensemble du secteur des biotechnologies et, conséquemment, du modèle bioéconomique qui lui est rattaché. Les visées économiques de la biologie de synthèse sont si centrales que les sociologues français Gaëtan Flocco et Mélanie Guyonvarch affirment qu'elles « constituent d'une certaine façon sa raison d'être » (Flocco et Guyonvarch, 2021 : 137). Ils y montrent la prégnance de la volonté de produire des innovations qui pourront ouvrir

²⁹ Ces projections optimistes sont infirmées par plusieurs études. Eversberg, Holz et Pungas (2022) offre un survol des critiques et des limites posées au modèle bioéconomique : « We have shown here how research on the bioeconomy's social and ecological preconditions and implications has challenged the claims to the possibility and desirability of such growth by confronting them with irritating or irreconcilable realities on several levels. It has highlighted the contested nature of promissory visions in bioeconomy discourses and knowledge production, illuminated the interests, strategies and power relations at play in advancing the promissory policy narrative, exposed expectations of jobs growth and broad-based wealth creation through bioeconomy as hardly realistic in the face of its economic reality, and shown that the provision of biological resources cannot expand at a scale even remotely sufficient to allow for overall economic growth » (Eversberg, Holz et Pungas, 2022 : 11).

Malgré tout, les projections optimistes du développement bioéconomique participent à la mise en acte de ce modèle. Elles servent à mobiliser les ressources nécessaires au développement du secteur des biotechnologies. Dans le prochain chapitre, je reviendrai sur cette dynamique déterminante. Voir le chapitre II, section 2.2 : « L'économie de la promesse ».

³⁰ L'OCDE définit les plates-formes technologiques comme « les principaux outils et techniques des biotechnologies modernes » (OCDE, 2009 : 60). La biologie de synthèse en fait partie, ainsi que, entre autres, le génie génétique et la bioinformatique (OCDE, 2009).

de nouveaux marchés : produits remplaçant les pesticides, matériaux plus résistants, organismes qui dépolluent les océans, viande produite en laboratoire (Flocco et Guyonvarch, 2018 ; 2019). Étant donné les espoirs suscités, les institutions politiques et économiques jouent un rôle central dans le développement des projets de la biologie de synthèse (Schwyter et Calvert, 2015). L'orientation du domaine se négocie notamment entre les programmes gouvernementaux de Recherche & Développement et le financement provenant du domaine privé (Hilgartner, 2015). « D'emblée pensée comme un outil au service de la production, la biologie synthétique est portée par l'État dans l'espoir que les grands groupes et capital-risqueurs s'en saisissent une fois convaincus de son efficacité » (Aguiton, 2018 : 48). Pour ces investisseurs, le secteur de la biologie de synthèse représente un alléchant pari envers la mise en ressource des processus vivants (Cooper, 2008).

2. Angle mort

Comme il a été possible de l'entrevoir, la littérature est abondante sur les transformations épistémiques et les intérêts politico-économiques qui traversent désormais les sciences du vivant (Fox Keller, 2003 ; Knorr Cetina, 2005 ; Rose, 2007). Plusieurs études sociologiques ont analysé ces dimensions en regard aux innovations biotechnologiques (Cooper, 2008 ; Cooper et Waldby, 2014 ; Lafontaine, 2014a ; Landecker, 2007 ; Sunder Rajan, 2012 ; Thacker, 2005). Dans l'ensemble, elles ont montré les liens étroits entre le domaine biotechnologique et le cadre politico-économique des sociétés contemporaines. Au sein de celles-ci, la « vie en elle-même », à travers sa manipulation technoscientifique, est valorisée pour les profits économiques qu'elle pourrait générer (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a). Comme je l'ai brièvement montré, les analyses de la biologie de synthèse abondent en ce sens. Constituant une radicalisation de l'instrumentalisation du vivant, elle participe à l'extension du modèle industriel bioéconomique (Lafontaine, 2021 ; Redford et Adams, 2021 ; Tamminen et Deibel, 2019). En bref, les dernières pages ont mis de l'avant l'imbrication entre l'instrumentalisation et la mise en ressource du vivant. Il semble toutefois qu'un angle mort persiste. Dans la littérature, il apparaît que la relation entre le projet de la biologie de synthèse et les enjeux écologiques contemporains est insuffisamment mise en lumière. Pour faire ressortir cet

angle mort, il est éclairant de faire appel au discours écologique promu à l'échelle globale et de l'opposer au discours des promoteurs de l'« ingénierie de la biologie ».

Si l'on en croit la Convention sur la diversité biologique (CDB)³¹, un traité international signé par 196 pays, la protection des écosystèmes, des espèces et de la diversité génétique représente « une préoccupation commune de l'humanité » (ONU, s.d.). En ce sens, la CDB enjoint à « transformer la relation de la société avec la biodiversité et de faire en sorte que, d'ici 2050, la vision commune d'une vie en harmonie avec la nature soit réalisée »³² (Programme des Nations-Unis pour le développement, 2022b). Plus largement, cet objectif s'inscrit dans le discours ambiant relatif aux changements climatiques. Celui-ci est traversé d'inquiétudes pour le vivant et sa pérennité. Plus que jamais, il est mis en péril par les changements climatiques. Ceux-ci perturbent profondément les conditions de vie de maintes espèces biologiques, menant plusieurs scientifiques à annoncer la venue d'une « sixième extinction de masse » (Bubandt, Gan, Swanson et Tsing, 2017 ; Redford et Adams, 2021). Les signes de cette grande extinction sont de plus en plus nombreux : espèces menacées, en voie de disparition ou carrément éteintes, dégradation des écosystèmes, perte de caractéristiques génétiques, etc. À l'heure de la crise écologique, le vivant est donc présenté comme étant en danger et nécessitant une protection accrue. Dans ce contexte, les activités industrielles sont pointées du doigt et appellent à être drastiquement réduites. Les perturbations causées par ces activités sont multiples : émission de CO₂, contamination des sols, utilisation de pesticides, introduction d'espèces invasives, déforestation, épuisement de ressources naturelles, etc.

Souvent formulé sur le ton de l'urgence, le discours qui s'inquiète de l'extinction massive des espèces et de la dégradation des écosystèmes fait contraste avec l'annonce optimiste d'un « nouvel âge de la biologie » portée par les promoteurs de la biologie de

³¹ Ce traité résulte de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio de Janeiro en 1992. Son objectif est d'encourager les pays signataires à assurer « la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de la diversité biologique et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques » (ONU, s.d.).

³² Cette visée devait encadrer les discussions et les décisions lors de la 15^e Conférence des Parties (COP15) s'étant déroulée à Montréal en décembre 2022. Cet événement d'envergure était aiguillé par la CDB et réunissant des représentants de ses pays signataires (Gouvernement du Canada, 2023).

synthèse. En effet, le projet d'une manipulation et d'une exploitation à large échelle du vivant semble bien loin du discours qui revendique sa protection. En clair, ces deux narratifs semblent sous-tendre deux rapports au vivant substantiellement différents. Or, on constate que, de plus en plus, la biologie de synthèse s'approprie le discours écologique. Les inquiétudes environnementales sont fréquemment évoquées pour justifier les développements de ce domaine (Flocco et Guyonvarch, 2020 ; Tamminen et Deibel, 2019). Dans les discours médiatiques et gouvernementaux, elle est toujours davantage « liée aux promesses d'une fabrication [manufacturing] plus efficace et flexible [scalable] de substances pharmaceutiques et thérapeutiques, de biocarburants liquides, de biomatériaux renouvelables et de biosenseurs » (Frow, 2020 : 1039 [ma traduction]). Les innovations apportées seraient à même de révolutionner la production industrielle en la rendant « verte » et « durable » (Flocco et Guyonvarch, 2021 ; Hellsten et Nerlich, 2011 ; Karabin, Mansfield et Frow, 2021 ; Redford et Adams, 2021). Redoublant d'efforts pour esquiver la remise en cause du mode de développement industriel, cette logique promet aux sociétés contemporaines un mode de développement durable fondé sur la manipulation du vivant (Flocco et Guyonvarch, 2020). Si certains travaux mettent en relief cette tendance générale, le rapport au vivant qu'elle sous-tend est relativement peu exploré. Celui-ci correspond aux manières dont est imaginé et décrit le vivant dans les discours de la biologie de synthèse. Entre dégradation, protection, modification et exploitation, ce rapport est rendu pour le moins complexe par les développements biotechnologiques.

Dans la suite de ce mémoire, je tenterai d'éclairer le rapport au vivant sous-tendu par le projet de faire l'« ingénierie de la biologie ». Tel que je l'argumenterai, il s'appuie sur un imaginaire collectif. En s'inspirant du cadre analytique des imaginaires sociotechniques, il sera possible d'analyser les enjeux économiques, politiques et culturels qui façonnent ce rapport. Il sera important de garder en tête que je m'intéresse aux solutions écologiques proposées par les discours promoteurs du domaine. Dans cet esprit, il faudra se demander : quelles représentations du vivant permettent d'imaginer un « développement durable » fondé sur son exploitation? Quels sont les liens entre ces représentations et l'imaginaire dans lequel s'inscrit la biologie de synthèse? Plus largement, cela pose la question de la définition du vivant qui prévaut dans le contexte de la biologie de synthèse.

Cette analyse est nécessaire pour tenter de rendre compte des transformations de notre rapport au vivant à l'ère de l'essor des biotechnologies. Pour réaliser cette analyse, dans les prochaines pages, je développerai le cadre des imaginaires sociotechniques. Cela permettra d'établir que la biologie de synthèse véhicule et diffuse certaines « visions d'un futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4) au sein des sociétés contemporaines. Je montrerai ensuite en quoi l'angle des métaphores est pertinent pour éclairer cet imaginaire et le rapport au vivant qu'il sous-tend.

3. Cadre d'analyse

3.1. Les imaginaires sociotechniques

Pour adopter un regard sociologique sur la biologie de synthèse, il faut partir du constat que les sciences et les technologies n'appartiennent pas à une sphère isolée du reste de la société. La sociologie des sciences et des technologies rappelle qu'elles sont indissociables d'arrangements sociaux qui soutiennent leur production : pouvoir politique, intérêts économiques, contexte culturel, etc. En ce sens, elles doivent se comprendre selon l'ordre social dans lequel elles s'inscrivent. Qui plus est, les sciences et les technologies détiennent un rôle central au sein des sociétés contemporaines. Comme je le poserai au tout début du prochain chapitre, elles détiennent une place prépondérante dans l'ordre social depuis l'époque moderne. Pour mettre en relief cette dynamique, la sociologue Sheila Jasanoff a théorisé la « coproduction » entre la science, la technologie et la société. Elle pose que, d'un côté, le savoir scientifique et les objets technologiques sont dépendants de certains arrangements sociaux. De l'autre côté, l'ordre social s'appuie lui-même sur le développement des sciences et des technologies. En somme, le monde matériel et l'ordre social se façonnent mutuellement (Jasanoff, 2004). Rapportée à mon objet d'étude, la notion de coproduction permet de poser que le développement de la biologie de synthèse dépend d'un ordre social en même temps qu'il participe à le renforcer. Plus précisément, il repose sur un cadre économique, politique et culturel qui lui est favorable. Financements, lois, politiques gouvernementales, opinion du public, etc. doivent créer un climat qui rend possible son développement. En retour, les innovations témoignent de l'efficacité et de la puissance du cadre qui les ont stimulées et, par le fait même, le renforcent.

Partant de la notion de coproduction, Jasanoff a développé le cadre d'analyse des « imaginaires sociotechniques » dans ses travaux plus récents. Comme je le développerai ici, cette approche permet de saisir la relation entre science, technologie et société dans une optique sociologique. Plus qu'une capacité cognitive individuelle, l'imagination a une dimension intersubjective qui lie ensemble les membres d'un groupe. Selon sa définition sociologique, un imaginaire renferme un ensemble de représentations, de valeurs, de croyances, de symboles, de normes. Partagé collectivement, il forme un système de significations qui influence la façon dont un groupe perçoit le monde et sa place en son sein. Héritant d'une riche tradition en sociologie et en anthropologie³³, le cadre de l'imaginaire est pertinent pour rendre compte de la coproduction de la science, la technologie et l'ordre social ; il est à la fois le produit et l'instrument de cette dynamique (Jasanoff, 2015). Pour l'expliquer adéquatement, il est pertinent de reprendre textuellement la définition que Jasanoff a formulée :

sociotechnical imaginaries [are] collectively held, institutionally stabilized, and publicly performed visions of desirable futures, animated by shared understandings of forms of social life and social order, attainable through, and supportive of, advances in science and technology. (Jasanoff, 2015 : 4)

Les imaginaires sociotechniques, fondés sur certaines manières de comprendre le monde, sont dépendants d'un contexte social, c'est-à-dire des représentations, des valeurs, des idées, des normes, des inquiétudes, etc. qui y circulent. C'est à partir de ce contexte que se forment les visions de ce que l'avenir devrait être. Il influe alors sur la trajectoire à adopter collectivement pour mettre en œuvre ces visions. Les sciences et les technologies détiennent un rôle crucial dans cette trajectoire. Comme Jasanoff le relève, elles ne sont pas seulement pensées en fonction de leur faisabilité ou de leur plausibilité. Les développements scientifiques et technologiques imaginés dépendent aussi de « comment la vie devrait être, ou ne pas être, vécue ; à cet égard, ils expriment les compréhensions du bien et du mal partagées au sein d'une société » (Jasanoff et Kim, 2015 : 4 [ma traduction]). C'est pourquoi certains développements y apparaissent comme étant possibles et désirables collectivement, parfois au profit d'autres avenues. Ce constat permet de poser que les visées des innovations sont modelées en fonction des enjeux économiques, politiques et

³³ À ce sujet, Jasanoff (2015) cite quelques principaux penseurs de la notion d'imaginaire social : Benedict Anderson (1983), Charles Taylor (2004) et Arjun Appadurai (2002).

culturels qui orientent les manières d’imaginer un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4). À titre illustratif, Jasanoff et Kim ont montré le rôle de l’État dans la constitution de l’imaginaire sociotechnique de l’énergie nucléaire. Les politiques publiques d’un État, sa manière de présenter les risques et les bénéfices et ses controverses passées ont tous une incidence sur la valorisation ou, au contraire, la contestation d’une technologie³⁴ (Jasanoff et Kim, 2009).

Il faut ici souligner que, tel qu’initialement formulé par Jasanoff, ce cadre analytique se concentrait sur les imaginaires nationaux, soulignant le rôle central du pouvoir étatique. Or, dans les dernières années, les travaux en sciences sociales (et Jasanoff elle-même) ont démontré la présence et l’importance d’autres acteurs : entreprises, mouvements sociaux, organisations non gouvernementales, communautés scientifiques, etc. Chacun à leur manière, ils influencent, reformulent, transforment ou contestent les imaginaires sociotechniques dominants (Jasanoff, 2015 ; Vicente et Dias-Trindade, 2021). Loin de mettre l’ensemble de ses acteurs sur le même pied d’égalité, l’approche des imaginaires sociotechniques enjoint à prendre en compte les « topographies du pouvoir »³⁵. Si l’ensemble des membres d’une société participe à construire et stabiliser l’imaginaire collectif, il demeure que certains détiennent plus d’autorité. Il faut souligner ici que, dans sa définition, Jasanoff insiste sur le fait qu’un imaginaire est « stabilisé institutionnellement ». En ce sens, aux côtés des gouvernements, les grandes institutions économiques et scientifiques ont le haut du pavé pour formuler et diffuser certaines visions d’un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4 ; Vicente et Dias-Trindade, 2021). La communauté scientifique, économique et politique instituée autour de la biologie de synthèse possède les ressources nécessaires pour élaborer et propager certaines visions d’un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4) collectivement. Dans le chapitre qui suit, je montrerai que son autorité s’édifie sur le régime technoscientifique ainsi que sur le modèle bioéconomique promu à l’échelle globale.

³⁴ Jasanoff et Kim le montrent à travers une comparaison de l’imaginaire sociotechnique de l’énergie nucléaire aux États-Unis et en Corée du Sud. Voir Jasanoff et Kim (2009) pour une analyse approfondie.

³⁵ Dans cette optique, Jasanoff se distancie de l’approche de l’acteur-réseau (ANT) élaboré par Bruno Latour. Bien qu’elle reconnaisse que cette approche a su considérer la place centrale des sciences et des technologies, elle ne permet pas de penser la responsabilité puisqu’elle met tout au même pied d’égalité ; technologies, sociétés humaines, organismes biologiques (voir Jasanoff, 2015).

En dernier lieu, pour bien comprendre la portée d'un imaginaire sociotechnique, il faut aussi relever son caractère performatif qui lui permet de passer de l'*imaginé* à l'*actuel*. En effet, en formulant des visions désirables du futur, il est directement relié à sa construction. Il constitue « une ressource culturelle importante qui rend possibles de nouvelles formes de vie en projetant des buts positifs et en cherchant à les atteindre »³⁶ (Jasanoff et Kim, 2009 : 122 [ma traduction]). Cela permet et structure le déploiement de ressources : allocation de financements, mobilisation de chercheurs, mise en place d'infrastructures matérielles, etc. De la sorte, les imaginaires se reflètent au sein des projets sociotechniques (Gardner et Webster, 2017 ; Lafontaine et al., 2021). Cette dimension performative appelle à prendre au sérieux les imaginaires sociotechniques. Ils participent à la mobilisation, dans le présent, d'un ensemble de ressources et construisent l'avenir de nos sociétés (Jasanoff, 2015 ; Maestrutti, 2011).

Considérant la définition de l'« imaginaire sociotechnique » qui vient d'être posée, il apparaît tout à fait justifié de mobiliser ce cadre analytique. Cette approche permet de penser la relation de coproduction entre, d'un côté, la biologie de synthèse et, de l'autre, l'ordre social. Ce domaine technoscientifique est inséparable des arrangements sociaux au sein desquels son développement apparaît possible et souhaitable. En quelque sorte, ils agissent comme son moteur puisqu'ils mobilisent les acteurs, les politiques et les ressources matérielles nécessaires au développement de ce domaine. Emma K. Frow a déjà montré la pertinence de cette approche pour l'analyse de la biologie de synthèse. Dans son étude, elle a identifié les imaginaires sociotechniques sur lesquels s'appuient ses modes de gouvernance au Royaume-Uni et aux États-Unis³⁷. Pour les mettre au jour, Frow a analysé

³⁶ « an important cultural resource that enables new forms of life by projecting positive goals and seeking to attain them » (Jasanoff et Kim, 2009 : 122).

³⁷ Frow a démontré que la culture scientifique aux États-Unis était encore animée par l'idéal de l'auto-régulation ayant marqué la conférence d'Asilomar de 1975 traitant de la manipulation génétique. Au Royaume-Uni, les nouveaux développements en biologie de synthèse sont plutôt régulés par le cadre établi pour réglementer les OGM par le Health and Safety Executive (HSE). Ce cadre est né en réaction à la controverse publique relative aux OGM où il a été conclu qu'une gestion des préoccupations du public doit être amorcée en amont des recherches. Ce sont deux manières de réguler la biologie de synthèse qui déterminent en partie comment son développement est orienté. Aux fins de son analyse, Frow s'est surtout concentrée sur les manières dont les citoyens étaient « construits » par les différents modes de gouvernance : le rôle qui leur est accordé dans les prises de décision, les risques qu'ils représentent, le niveau de légitimité

les rapports institutionnels et les réglementations qui ont historiquement accompagné le développement des biotechnologies dans ces deux pays (Frow, 2020). Cet angle est plus que pertinent pour comprendre les modes de gouvernance qui orientent les innovations de la biologie de synthèse. À la différence de Frow, ce présent mémoire s'intéresse au rapport au vivant soutenu par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Pour cette raison, un autre angle d'approche est de mise. C'est sur les métaphores du vivant que je me concentrerai. Elles nourrissent et orientent l'imaginaire ; c'est ce que j'expliquerai dans la section qui suit.

3.2. L'angle des métaphores

La définition du vivant en biologie de synthèse est une question épineuse. Le philosophe Gilbert Lechermeier note l'absence d'une telle définition dans l'ensemble des sciences du vivant. De surcroît, à l'heure de la prolifération des biotechnologies, les nouvelles formes de vie créées en laboratoire déstabilisent les frontières entre nature et artifice, vivant et non-vivant (Lafontaine, 2021 ; Lechermeier, 2019). De manière fondamentale, la transformation technoscientifique du vivant « change ce que signifie être biologique »³⁸ (Landecker, 2005 : 213 [ma traduction]). Pour mettre en lumière ces transformations dans un domaine où on imagine « fabriquer du vivant », les manières de le représenter sont importantes à analyser. Comment les promoteurs de la biologie de synthèse conçoivent-ils le vivant? Comment ces représentations influencent-elles le développement de ce domaine? Quels futurs peut-on imaginer à partir de celles-ci? En somme, il faut se demander sur quelles représentations du vivant s'appuie l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Aux fins de ce travail, il est judicieux de retracer et d'analyser les métaphores du vivant véhiculées par la biologie de synthèse. Il apparaît ici adéquat de poser la notion de métaphore et, surtout, sa pertinence pour l'analyse de l'imaginaire sociotechnique. Comme cette notion reviendra tout au long du retour sociohistorique sur l'imaginaire de la biologie de synthèse, il est important d'en donner

donné à leurs critiques, etc. Ces dimensions influencent à la fois les relations entre le public et la biologie de synthèse ainsi que son orientation. Voir Frow (2020).

³⁸ « changes what it is to be biological » (Landecker, 2005 : 213).

une définition préliminaire. Dans le chapitre méthodologique, je reviendrai sur cette notion et j'expliquerai comment elle sera opérationnalisée aux fins de l'analyse du discours.

Il faut d'abord remarquer que la métaphore appartient au champ plus large des représentations. Fondamentalement, une représentation implique la symbolisation et l'interprétation d'un objet par un sujet (Jodelet, 2003). Tout comme l'acte de représenter, la métaphore implique la reconstruction d'un objet (le référent) par un sujet. Cette reconstruction se réalise toutefois de manière particulière : elle consiste à « comprendre et faire l'expérience d'une chose dans les termes d'une autre »³⁹ (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 5 [ma traduction]). En clair, un lien est fait entre une source (l'objet connu) et une cible (l'objet ou le concept qu'on cherche à représenter)⁴⁰ (Hellsten, 2002 ; Lakoff et Johnson, [1980] 2003). Selon la linguistique cognitive développée par George Lakoff et Mark Johnson, les métaphores permettent de rapporter des concepts abstraits à des expériences plus proches de notre vécu. Elles fournissent un cadre conceptuel⁴¹ qui permet d'appréhender certains phénomènes hors de notre perception spatiale ou temporelle (Garland-Thomson, 2020 ; Hellsten, 2002 ; Lakoff et Johnson, [1980] 2003). Les travaux d'Ilna Hellsten, eux-mêmes basés sur l'ouvrage de Lakoff et Johnson, soulignent l'importance des métaphores dans les domaines scientifiques et technologiques. Les phénomènes qui y sont abordés sont en grande partie inaccessibles à notre perception directe (Hellsten, 2002). En biologie de synthèse, par exemple, les manipulations se font à l'échelle microscopique grâce à des appareils hautement sophistiqués. C'est pour cette raison que les métaphores sont largement présentes dans ce domaine, que ce soit au sein de rapports de recherches, d'articles de vulgarisation scientifique, de communications orales, de manuels destinés aux étudiants, etc. (Hellsten et Nerlich, 2011).

³⁹ « understanding and experiencing one kind of thing in terms of another » (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 5).

⁴⁰ Les notions de *source* et de cible (*target*) proviennent de la théorie de George Lakoff et Mark Johnson et sont reprises par plusieurs auteurs (Hellsten, 2002 ; Kampourakis, 2020 ; Balmer et Herreman, 2009 ; Nicholson, 2013 ; Ceccarelli, 2018)

⁴¹ Lakoff et Johnson précisent que les expressions (linguistiques) métaphoriques se rapportent à une métaphore conceptuelle englobante (Lakoff et Johnson, [1980] 2003). Je détaillerai ceci dans le chapitre méthodologique.

En proposant d'analyser les métaphores employées pour décrire le vivant, il ne s'agit pas de remettre en question leur objectivité ou leur validité scientifique. Sans contredit, elles détiennent un fondement théorique qui est hors de portée de l'analyse sociologique. De surcroît, les métaphores sont nécessaires aux domaines scientifiques et à leur avancement. Le philosophe et historien des sciences Daniel J. Nicholson distingue trois rôles que jouent les métaphores en science. Elles tiennent d'abord un rôle théorique puisqu'elles servent de « socle pour la conceptualisation, la représentation et l'explication du domaine cible » (Nicholson, 2014 : 163 [ma traduction]). Deuxièmement, elles ont une fonction heuristique puisqu'elles permettent aux chercheurs de se représenter plus facilement certains aspects d'un phénomène étudié. Enfin, les métaphores détiennent un rôle rhétorique puisqu'elles permettent aux scientifiques de présenter leurs travaux au reste du public non-expert (Nicholson, 2014). Il est primordial de souligner que c'est uniquement sur cette dernière fonction que portera l'ensemble du présent travail. Laissant les rôles théorique et heuristique des métaphores de côté, l'objectif est de se pencher sur leur dimension communicative qui en font un phénomène social (Hellsten, 2002 ; Hellsten et Nerlich, 2004). Plus précisément, je me pencherai sur les métaphores qui, à travers leur stabilisation et leur diffusion, participent à la construction de l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse.

Les métaphores sont fondamentales à la communication entre les domaines scientifiques et technologiques et la société (Hellsten, 2002 ; Hellsten et Nerlich, 2004). Globalement, la communication scientifique réfère aux relais d'informations (connaissances, découvertes, enjeux, résultats de recherche) des chercheurs vers l'ensemble du public (Lewenstein, 1995). Les métaphores y jouent un rôle d'importance particulière. Selon Hellsten, elles constituent un « outil de communication » qui permet l'échange entre plusieurs types de discours (scientifiques et profanes). Elles permettent de rapporter un phénomène complexe à un autre, plus commun et connu par le public (Hellsten, 2002). Par exemple, la métaphore du génome en tant que « texte » du vivant a été fortement diffusée dans la seconde moitié du XXe siècle. Elle pose ainsi l'ADN comme étant l'« alphabet » qui détermine l'organisation et le fonctionnement d'un organisme (Fox Keller, 1999 ; Kay, 2000 ; Zwart, 2018). Cette métaphore permet de faire comprendre au

public certains phénomènes du domaine de la génétique. Elle permet notamment de rendre compte de l'importance du rôle des gènes. Or, il faut souligner que les métaphores ne constituent pas un reflet fidèle de la réalité. Elles découlent plutôt d'une sélection de la réalité qui résulte inévitablement en une distorsion de la réalité (Ceccarelli, 2018 ; Garland-Thompson, 2020). Résultant de certains choix, « les métaphores sont utilisées intentionnellement pour renforcer certaines perspectives sur le monde et pour fournir des angles spécifiques sur des problématiques » (Hellsten, 2002 : 32 [ma traduction]). Dès lors, si leur usage est inévitable, plusieurs auteurs mettent en garde contre l'utilisation abusive ou non réflexive des métaphores⁴² (Kampourakis, 2020 ; Nicholson, 2012 ; Nicholson, 2013.) Si on revient à l'exemple du génome en tant que « texte », il faut noter que cette métaphore a eu une fonction heuristique et théorique importante lors de la seconde moitié du XXe siècle. Or, les avancées en génomique⁴³ ont ensuite montré qu'elle laisse de côté certains phénomènes. Elle ne permet pas de prendre en compte l'immense quantité de « régions non codantes » (des gènes qui ne semblent pas avoir de fonctions au sein de l'organisme) ou encore de l'impact des interactions avec l'environnement sur le génome (Fox Keller, 2003). Malgré la contestation de plusieurs milieux scientifiques, la métaphore du génome en tant que « texte » persiste dans l'imaginaire collectif (Fox Keller, 2003 ; Hellsten et Nerlich, 2004). Cela tend à renforcer la tendance au « réductionnisme génétique » soit, l'idée que l'organisme est entièrement déterminé par ses gènes (Fox Keller, 1999 ; Nerlich et Hellsten, 2004).

Ce type de constatation amène une série de questions : comment les métaphores dominantes sont-elles stabilisées et diffusées? Pourquoi certaines perdurent-elles? Pourquoi d'autres sont-elles inutilisées? Encore une fois, les travaux d'Hellsten sont éclairants pour saisir la dimension sociale de ces enjeux. Prenant une perspective sociologique, elle explique que les métaphores ont une double dimension sociale :

⁴² Kampourakis résume ainsi ce propos : « it is important for scientists to reflect upon the meanings and the uses of metaphors they use, as well to be aware of and explicit about their limitations. As it is not possible to entirely refrain from using metaphors, we had better use them in well-defined frameworks, rather than inappropriately building the frameworks on those metaphors » (Kampourakis, 2020 : 119). Voir aussi Nicholson, 2012 et Nicholson, 2013.

⁴³ Entre autres, les développements permis par le Projet Génome Humain ont mis de l'avant la complexité du génome. En fait, elles ont donné lieu à ce qui est souvent appelé un « déluge d'informations ». À ce sujet, voir *Le siècle du gène* (Fox Keller, 2003).

first, the communicative game over the selection of certain metaphors instead of others, and the re-formulations of these metaphors; and second, the evolutionary history of the systems metaphors. These two processes take place simultaneously. Metaphors co-evolve in the cultural practices of specific societies. In addition, they carry on some of the implications of earlier cultures and societies. The archeology of metaphors, and the social and political negotiation of power in metaphors use, makes metaphors fruitful objects of sociological and cultural analysis. (Hellsten, 2002 : 34)

Étant un outil fondamental à la communication scientifique, c'est par les métaphores que le discours scientifique peut entrer dans l'imaginaire sociotechnique des sociétés (Hellsten, 2002). Elles ont donc un impact significatif sur les manières dont seront compris, perçus et valorisés les développements scientifiques et technologiques. Entrant en résonance avec certaines valeurs sociales et culturelles dans une société donnée, elles orientent la manière dont sont imaginés certains « futurs désirables » (Jasanoff, 2015 : 4). Dans le cas de l'imaginaire de la biologie de synthèse, les métaphores du vivant exercent une influence sur la façon dont il sera perçu par l'ensemble du public. De ce fait, elles participent à organiser notre rapport au vivant.

Afin d'identifier et d'analyser les métaphores du vivant véhiculées par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse, il faudra d'abord réaliser ce que Hellsten nomme une « archéologie des métaphores ». Pour ce faire, je relèverai l'ancrage sociohistorique des métaphores du vivant de la biologie de synthèse. Il s'agira d'y relever les conditions qui ont rendu possibles leur production, leur stabilisation et leur diffusion. Dans le chapitre qui suit, je montrerai que l'imaginaire du progrès technoscientifique constitue l'ancrage premier de la biologie de synthèse. Cela permettra de mieux comprendre pourquoi ce domaine peut être envisagé comme une solution à la crise écologique. Dans la deuxième partie, je me pencherai plus en profondeur sur l'imaginaire de la bioéconomie. Comme la biologie de synthèse s'inscrit directement dans le modèle bioéconomique, j'insisterai sur les métaphores du vivant qui l'ont nourri. Cela permettra de faire ressortir deux métaphores qui se retrouvent au cœur de l'imaginaire de la biologie de synthèse, soit le vivant-machine et le vivant informationnel. De plus, j'expliquerai comment elles nourrissent une double promesse, soit poursuivre la croissance économique et dépasser ses limites écologiques. Dans la dernière partie, j'illustrerai comment ce type de représentations est radicalisé dans

l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Je soulignerai également qu'elles sont étroitement liées aux visées industrielles du domaine.

Chapitre II - L'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse

1. Le régime technoscientifique : socle de l'imaginaire de la biologie de synthèse.

Pour comprendre la valorisation du développement de la biologie de synthèse, il faut d'abord relever l'importance des technosciences dans l'imaginaire du progrès des sociétés contemporaines. Il convient ici de revenir sur ce qui sera appelé le « régime technoscientifique ». Cela permettra de comprendre pourquoi les scientifiques, mais aussi les institutions économiques et politiques qui supportent la biologie de synthèse, détiennent l'autorité pour élaborer et diffuser certaines visions désirables du futur.

De manière succincte, l'imaginaire occidental du progrès consiste en l'idée d'une amélioration constante de la condition humaine. D'origine judéo-chrétienne⁴⁴, sa figure moderne s'est fondée sur « la croyance en la toute-puissance des sciences et techniques » (Bourg, 2000 : 22). Consubstantielles au projet humaniste d'émancipation par la raison, elles devaient être au service du progrès social, culturel et moral des sociétés (Bourg, 2000 ; Lévy-Leblond, 2000). Il faut sauter au XXe siècle pour comprendre comment cet imaginaire fut réarticulé. Si le régime technoscientifique possède des racines complexes et profondes⁴⁵, la période suivant la Deuxième Guerre mondiale a été décisive dans son avènement. Parallèlement au pessimisme politique⁴⁶ qu'avait entraîné la guerre, un autre imaginaire a pu gagner les sociétés occidentales ; celui de l'optimisme technoscientifique. Les innovations militaires, les modes de management, la puissance nucléaire et les technologies de la communication avaient su démontrer leur efficacité et leur puissance écrasante. Ce sont surtout les réalisations de l'entreprise militaro-industrielle américaine

⁴⁴ Voir « Les origines religieuses de l'idée de progrès » (Bourg, 2000).

⁴⁵ Voir *Les vertiges de la technoscience: Façonner le monde atome par atome* (Bensaude-Vincent, 2009).

⁴⁶ En Occident, cette époque fut profondément marquée par l'échec des valeurs humanistes face aux atrocités de la guerre. Les horreurs du nazisme et la perspective d'une destruction nucléaire ont signé l'avènement d'un puissant pessimisme politique dans l'imaginaire collectif. À ce sujet, voir Le Dévédec, (2013) et Lafontaine (2007).

qui furent perçues comme un succès indéniable⁴⁷ (Bensaude-Vincent, 2009 ; Grinevald, 2000 ; Lafontaine, 2004). L'efficacité de ces efforts a démontré que la science pouvait être mise au service « de la prospérité et de la sécurité d'une nation » (Bensaude-Vincent, 2009 : 27), tant du point de vue militaire que de la compétitivité économique. À cette mobilisation se sont également ajoutés le développement des États-nations, la rationalisation de la production et les partenariats entre industries et laboratoires⁴⁸. Ces transformations ont toutes participé à la formation de forts liens d'interdépendance entre la science, l'industrie et l'État. Cette mutation concorde à l'avènement du régime technoscientifique, dont le propre est d'abroger l'idée de l'autonomie de la science par rapport à la société. Devenu résolument opérationnel, le savoir permet d'intervenir et de transformer le monde (Bensaude-Vincent, 2009 ; Müller, 2016). « Les technoscientifiques s'attaquent à des problèmes complexes qui ne relèvent pas principalement du domaine scientifique, mais plutôt de constellations hybrides des domaines social, physique, économique, juridique, etc. – avec des solutions techniques » (Müller, 2016 : 206 [ma traduction]). Dans cet univers épistémique, il en revient aux technoscientifiques d'identifier, d'adresser et de résoudre les défis posés aux sociétés contemporaines. C'est bel et bien dans cet imaginaire que se situe la biologie de synthèse. La proposition même d'une « ingénierie » du vivant implique une « pulsion améliorative » (*ameliorative impulse*) entraînée par la volonté de passer d'une situation donnée vers une situation améliorée. Comme l'a développé Calvert, ce qui représente une « amélioration » ou une « situation préférable » répond nécessairement à des valeurs et des intérêts sociaux qui sont interprétés par les biologistes de synthèse (Calvert, 2013). Prenant l'exemple de la compagnie Solazyme⁴⁹, le sociologue Adrian Mackenzie a analysé les motivations derrière la mise au point d'un biocarburant à partir de l'ingénierie de microalgues. Financée à la fois par l'armée et le gouvernement américains, des grandes entreprises pétrolières

⁴⁷ Grâce à des investissements étatiques massifs, nombreux physiciens, chimistes et mathématiciens furent mobilisés au sein des projets militaires. Le plus célèbre d'entre eux, le Projet Manhattan, rassembla plus de 100 000 chercheurs et mena à l'élaboration de la bombe atomique (Lafontaine, 2004 ; Grinevald, 2000).

⁴⁸ Voir « Mettre les années 1870-1970 en perspective. Entre techno-science, industrie et État-nation » (Pestre, 2003) pour un historique détaillé de ces transformations.

⁴⁹ Cette compagnie de biologie de synthèse créée en 2003 avait comme but initial la production de biocarburants. Elle a été nommée la « Most Promising US Green-Tech Firm » au Forum mondial de l'investissement (organisé par l'ONU) en 2008. En 2014, elle a également remporté le Presidential Green Chemistry Challenge Award (United States Environmental Protection Agency, 2023).

(notamment Chevron) et des groupes philanthropiques, l'entreprise se présentait comme le *leader* mondial de la production de biocarburants synthétiques et connut un important succès sur la scène publique (Mackenzie, 2013 ; Schreck, 2008). Cet attrait résultait d'un contexte socio-économique particulier : « le changement climatique, le scénario de la "fin du pétrole" ['end of oil' scenario] et le contexte des relations des États-Unis avec des régions productrices de pétrole du Moyen-Orient, de la Russie et de l'Amérique du Sud » (Mackenzie, 2013 : 85 [ma traduction]). Promettant d'ouvrir un marché de plusieurs milliards de dollars, Solazyme proposait des solutions technoscientifiques aux défis posés à l'industrie américaine tout en renforçant sa puissance nationale⁵⁰.

Avec le régime technoscientifique, l'idée de progrès portée par l'imaginaire des sociétés occidentales n'est donc pas disparue, mais elle a été reformulée. L'amélioration de la condition humaine n'est plus du ressort de choix politiques collectifs ; c'est plutôt l'aboutissement naturel de l'innovation technoscientifique. Dans cet imaginaire, toute innovation est assimilée à une amélioration (Maestrutti, 2011). L'économiste française Hélène Tordjman en souligne la dimension idéologique. Ayant permis aux sociétés modernes d'acquérir une puissance d'agir sans pareil, le progrès technoscientifique est désormais naturalisé. Dès lors, « Tout ce qui peut être fait le sera » (Tordjman, 2021 : 51) et les effets négatifs seront considérés comme des externalités (Tordjman, 2021). Dans les mots de Flocco et Guyonvarch, cette logique est le reflet d'un « ensemble de représentations qui consacrent une croyance dans le bien-fondé des innovations technoscientifiques et le caractère naturel et indiscutable du progrès » (Flocco et Guyonvarch, 2019 : 16). Ces deux sociologues ont mis en évidence la prégnance de cette idéologie dans la rhétorique des biologistes de synthèse. Les risques, les limites et les critiques adressés à leur domaine y sont bel et bien reconnus, mais ils sont entièrement balayés en regard de la « marche du progrès ». Dans cet esprit, les bénéfices futurs sont d'emblée postulés comme supérieurs aux effets négatifs ; s'il y a bien des dangers liés à l'ingénierie du vivant, il est nécessaire de composer avec. Toute remise en question des

⁵⁰ Ces annonces ne se sont toutefois jamais concrétisées. Dans la dernière section de ce chapitre, je reviendrai sur l'exemple de Solazyme et verrons qu'elle s'inscrit dans l'« économie de la promesse » caractéristique de la bioéconomie.

visées de la biologie de synthèse se voit ainsi désamorcée (Flocco et Guyonvarch, 2018 ; Flocco et Guyonvarch, 2019). Ses développements sont dépeints comme étant naturels, inéluctables et ultimement bénéfiques.

1.1. Le régime technoscientifique conjugué à la crise écologique

La naturalisation du progrès technoscientifique semble être au cœur des annonces qui mettent de l'avant les bénéfices environnementaux de la biologie de synthèse. Cette dernière apparaît comme une solution « naturelle » à la crise écologique. Ses promoteurs la présentent surtout sous l'angle de la « durabilité environnementale » sans définir cette notion et sans expliquer comment elle est concrètement mise en acte. Des annonces variées et relativement floues sont évoquées : « rendre la production verte », « être bénéfique à l'environnement », « participer à la transition environnementale », etc. « La durabilité [sustainability] est souvent présentée comme quelque chose que ces compagnies (ou leurs produits) sont tout simplement, ou comme quelque chose qui sera directement accompli par ces compagnies (ou leurs produits) » (Karabin, Mansfield et Frow, 2021 : 10 [ma traduction]). Pour identifier l'imaginaire sous-tendu par ce type d'annonce, il est pertinent de faire un parallèle avec un autre domaine technoscientifique : la géo-ingénierie. Elle englobe des techniques qui ont pour but de contrôler et modifier certains processus environnementaux à l'échelle planétaire afin de combattre les effets néfastes des changements climatiques (Bourg et Hess, 2010). Les technologies de la géo-ingénierie peuvent être, par exemple, l'émission dans l'atmosphère d'aérosols de soufre afin de bloquer les rayons du soleil ou encore la fertilisation en sulfate de fer des océans afin d'y accroître la quantité de phytoplanctons absorbant du CO₂ (Bourg et Hess, 2010 ; Larrère, 2018). Ce contrôle radical des processus environnementaux est présenté comme une solution technoscientifique à la crise écologique. Cette proposition relève d'une double logique mise en lumière par le philosophe Frédéric Neyrat, spécialisé en écologie politique.

Pour reprendre ses mots,

la géo-ingénierie est, d'une certaine manière, la production ad hoc d'un désaveu : d'un côté, elle reconnaît qu'il y a changement climatique ; mais de l'autre elle esquive la responsabilité ou la culpabilité humaine, puisqu'elle présente la technologie, l'industrie, le capitalisme et la possibilité d'être maître (et possesseur) de la Terre comme les seules solutions à nos problèmes. (Neyrat, 2014 : 46)

Il s'agit d'une logique de contrôle de l'environnement prétendant pouvoir concilier le mode de production et les limites écologiques qui lui sont posées. Elle témoigne ainsi d'« une foi indéfectible dans la modernité technologique » (Neyrat, 2016 : 30). Cette dernière devrait rendre les humains capables « de "créer" un environnement qui leur permet de poursuivre la croissance économique propre au système capitaliste » (Neyrat, 2016 : 30). Dans les mots de Catherine Larrère, philosophe de l'environnement, la géo-ingénierie témoigne plutôt de la « fuite en avant » qui caractérise le « récit technoscientifique⁵¹ » de l'ère contemporaine. Ce narratif naturalise l'innovation en la présentant comme un fait inévitable et en évacuant toute autre solution pour remédier à la crise écologique. En effet, il n'y a pas de place aux remises en question des modes de production et de consommation caractéristiques des sociétés contemporaines. Les problèmes environnementaux entraînés par l'industrialisme seraient en voie d'être réglés par de nouvelles technologies issues des sociétés industrielles (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Flocco et Guyonvarch, 2021). Dans cet imaginaire sociotechnique, la réponse technoscientifique à la crise écologique s'arrime pleinement à la poursuite de la croissance économique (Flocco et Guyonvarch, 2020 ; Hagen, Engelhard et Toepfer, 2015 ; Larrère, 2018 ; Neyrat, 2016).

1.2. Croissance verte, bioéconomie et biologie de synthèse : des imaginaires imbriqués

À la lumière des précédents paragraphes, il est pertinent de soutenir que la biologie de synthèse incarne aussi le récit technoscientifique décrit par Larrère. Plutôt qu'un contrôle des processus climatiques, ses promoteurs affirment que la mise en ressource du vivant à large échelle est une solution à la crise écologique (Roosth, 2017). À cet égard, l'imaginaire de la biologie de synthèse sous-tend un « solutionnisme biotechnologique, c'est-à-dire la conviction que les biotechnologies constituent des moyens efficaces, capables de répondre aux défis de notre société sans rien changer à sa trajectoire industrielle

⁵¹ La notion de récit est ici prise au sens de Jean-François Lyotard puisque, selon Larrère, il permet de se raconter les solutions et les défis auxquels les sociétés contemporaines ont à faire face (Larrère, 2018). Le récit technoscientifique s'oppose à un deuxième type de récit identifiée par Larrère : le récit catastrophiste. Celui-ci postule que la planète se dirige nécessairement vers la catastrophe environnementale. Autrement dit, il pose que les impacts de l'action humaine sont devenus si importants que la destruction de la planète est inévitable (Larrère, 2018). Larrère estime que le récit catastrophiste, tout comme le récit technoscientifique constituent « une arrogance qui pousse à surestimer les pouvoirs de l'humanité aussi bien positivement (nous serions en mesure de rétablir le climat) que négativement (nous serions en mesure de détruire la planète, qui dépendrait entièrement de nous) » (Larrère, 2018 : 491).

et marchande » (Flocco et Guyonvarch, 2022 : 123-124). Pour le comprendre, il est pertinent de lier le projet de la biologie de synthèse à la « modernisation écologique » qui constitue à la fois une orientation théorique et un programme politique (Boudes, 2017 ; Foyer, 2015). Développée au sein de la pensée écologiste européenne vers les années 1980 avant de connaître un écho à l'international⁵², elle met de l'avant les transformations institutionnelles (politiques et économiques) qui représenteraient des solutions à la crise écologique (Béal, 2016). Plutôt que de formuler une critique au modèle de développement industriel, la modernisation écologique considère « les agents économiques et les dynamiques du marché comme porteurs de solutions nouvelles » (Boudes, 2017 : 4) pour les enjeux environnementaux contemporains. C'est pour cette raison que la gestion de l'environnement devrait être subordonnée aux logiques marchandes du système capitaliste (Béal, 2016). Dans cette perspective, les technosciences jouent un rôle crucial. En effet, le processus de « modernisation » écologique doit passer par le développement d'innovations qui servent à diminuer la pollution ou l'utilisation de ressources naturelles au sein de la production industrielle (Boudes, 2017). En tant que projet politique, la modernisation écologique peut ainsi être décrite comme un « solutionnisme technologique »⁵³ (Veraart, Blok et Lemmens, 2023). La biologie de synthèse peut être comprise comme une des solutions envisagées par la modernisation écologique (Adams, 2020). Dans un même ordre d'idées, selon la thèse de Tordjman, plutôt qu'une réelle (bio)révolution du mode de développement, la biologie de synthèse constituerait un avatar de la « croissance verte ». Celle-ci constitue l'extension et l'approfondissement du capitalisme industriel, c'est-à-dire d'« un système dont la vocation inhérente est de croître, d'englober une part toujours plus grande des activités humaines et de la nature » (Tordjman, 2021 : 6). À travers les innovations technoscientifiques qu'elle promet, il semble que la biologie de synthèse radicalise cette visée de la croissance verte. Manifestement, elle n'a pas seulement comme but d'« englober » des processus biologiques, mais bien de les construire de toutes pièces.

⁵² Pour un historique de la modernisation écologique ainsi qu'une présentation de ses principales caractéristiques, voir Foyer (2015) et Béal (2016). Pour un survol des grands débats en lien avec la modernisation écologique, voir Boudes (2017).

⁵³ Dans leur article, Veraart, Blok et Lemmens utilisent l'expression « techno-fix » (Veraart, Blok et Lemmens, 2023 : 18).

Face aux annonces de la « biorévolution », de l'« âge du contrôle biologique » ou de la « révolution verte », il semble judicieux de replacer la biologie de synthèse dans l'imaginaire de la croissance verte. Pour ce faire, il est adéquat de suivre la proposition de Sakari Tamminen et d'Eric Deibel :

historical continuity needs to be re-established in the present, which invariably means that the commercialisation of the biological sciences is a premise for the extensive wish list attached to the usage of sustainable and renewable biological resources. (Tamminen et Deibel, 2019 : 5-6)

Il est alors possible d'émettre l'hypothèse que la trajectoire industrielle de la biologie de synthèse surdétermine son discours environnemental. Son imaginaire relèverait ainsi d'une double promesse : poursuivre la croissance économique tout en dépassant ses limites écologiques. Bien qu'il y ait une prise en compte des enjeux environnementaux, elle est subordonnée à la poursuite de la croissance économique illimitée. Dans cette optique, le vivant constituerait un ensemble de ressources apte à soutenir le mode de développement propre au capitalisme industriel. Pour le démontrer, il faut avant tout revenir sur l'imaginaire de la bioéconomie. Celui-ci constitue l'ancrage politico-économique du développement de la biologie de synthèse. Désormais, la biologie de synthèse est même présentée comme le nouveau moteur du modèle bioéconomique. C'est pourquoi, dans les dernières années, elle a suscité des investissements plus élevés que jamais (Karabin, Mansfield et Frow, 2021).

Il est pertinent de prendre comme point de départ la définition de la bioéconomie que Lafontaine élabore dans son livre *Le Corps-marché*. C'est « un modèle économique fondé sur l'innovation technoscientifique au sein duquel les composantes biologiques (gènes, cellules, tissus) deviennent sources de la productivité » (Lafontaine, 2014a : 76). Selon les plus hautes instances politiques et économiques (OCDE, FEM, Commission Européenne, gouvernements nationaux, etc.), le bien-être futur de nos sociétés serait garanti par cette mise en ressource du vivant. Pour mettre en lumière les dimensions de son imaginaire, je ferai un retour sociohistorique sur les représentations du vivant qui l'ont nourri. Cela permettra de montrer que l'application d'un modèle d'ingénierie au vivant a constitué une condition de possibilité à sa mise en ressource. Ensuite, je reviendrai également sur l'« économie de la promesse » qui a aussi été nécessaire à l'émergence de la

bioéconomie. Après avoir réalisé ce retour, je pourrai montrer comment ces dimensions sont également au cœur de l’imaginaire de la biologie de synthèse. Par la bande, il sera possible de voir que la volonté de « faire l’ingénierie » du vivant n’est pas radicalement nouvelle ou propre à la biologie de synthèse.

2. Retour sociohistorique : les représentations du vivant derrière l’imaginaire de la bioéconomie

2.1. Un modèle d’ingénierie appliqué au vivant

2.1.1. Représentation machinique

L’application d’un modèle d’ingénierie au vivant est un processus historique aux racines profondes. La métaphore machinique y tient un rôle central qu’il faut ici mettre en lumière. Pour la présenter, je m’appuierai d’abord sur les travaux du philosophe et historien des sciences Daniel J. Nicholson. Pour ce penseur, la conception mécaniste du monde ne constitue rien de moins que le fondement de la science moderne (Nicholson, 2013). Elle possède un long parcours historique qui remonte à la philosophie naturaliste du XVII^e siècle. C’est avec l’introduction et la diffusion des idées de penseurs tels que Galilée, Newton, Copernic et Descartes que la philosophie mécaniste a d’abord été formulée. Progressivement, la nature fut conçue comme un ensemble de lois déterminées que l’être humain pouvait isoler, observer, et comprendre grâce au langage mathématique (Allen, 2005 ; Nicholson, 2012). Dans l’étude du vivant, cette conception a toutefois pris une signification particulière. Je reprends ici ses caractéristiques principales identifiées par Nicholson.

Le mécanicisme⁵⁴ se base sur la métaphore machinique du vivant. C’est une posture ontologique qui « conçoit les organismes vivants comme des machines pouvant être

⁵⁴ Je reprends ici la clarification conceptuelle faite par Nicholson. Il soutient que l’usage du terme « mécanisme », vu ses diverses significations dans les sciences du vivant, induit à confusion. Il prend soin de distinguer les trois sens accordés au « mécanisme ». Le « mécanicisme » est un postulat ontologique et épistémologique selon lequel les organismes sont des machines. Les « mécanismes » réfèrent au fonctionnement interne d’une structure machinique. Finalement, le « mécanisme causal » est un mode d’explication qui peut aider les biologistes à se représenter certains processus du vivant. Pour Nicholson, le

entièrement expliquées en fonction de la structure et des interactions des parties qui les composent » (Nicholson, 2012 : 153 [ma traduction]). L'idée centrale est non pas que le vivant est *comme* une machine, mais bien qu'il *est* une machine (Lewontin, 1996 ; Nicholson, 2012). Cette « métaphore ontologisée » induit une indifférenciation entre ces deux entités. Pour comprendre les ressorts de cette représentation, il est nécessaire de définir ce que constitue une machine. Constituant une notion évidemment très vaste, il est toutefois possible d'en retracer les principales qualités. « En termes très généraux, une machine peut être caractérisée comme un dispositif [*device*] avec des parties fixes qui interagissent entre elles et qui opèrent de manière coordonnée dans le but de produire un résultat prédéterminé » (Nicholson, 2019 : 109 [ma traduction]). Remplissant une fonction spécifique et fixée à l'avance par son concepteur, la machine est donc entièrement contrôlable. Selon cette définition, il est tout à fait approprié d'affirmer qu'une machine peut se comprendre sur une base déterministe et réductionniste. D'abord, la machine (ses parties et ses opérations) est construite dans le seul but d'accomplir une fonction précise ; son fonctionnement obéit donc nécessairement à des lois déterministes. De plus, comme elle est organisée en parties isolables les unes des autres, il est possible de comprendre chacune d'elle pour comprendre le fonctionnement général de la machine (Nicholson, 2012 ; Nicholson, 2013 ; Nicholson, 2019).

En retournant vers le domaine de la biologie, il est possible de dégager les principales conséquences de la métaphore du vivant-machine. Pour mettre en relief ses implications profondes, Nicholson insiste avant tout sur l'aspect problématique de cette métaphore. Les machines, à la différence des organismes, ont une finalité qui leur est extérieure. Leur caractéristique fondamentale est de servir à l'humain :

Organisms are autonomous systems. Machines [...] are simply means of furthering the causal autonomy of their users. Organisms have no external controls, whereas « [a] characteristic of all man-made machines is that they serve as instruments of control » (Kapp, 1954, p. 93). Machines are controlled so that they operate in the ways desired by their makers and users. It is us, as

« mécanisme causal » a une valeur heuristique. Toutefois, la présence du « mécanicisme » en biologie est problématique et ne permet pas de comprendre le vivant et sa spécificité (Voir Nicholson (2012)). Je traiterai ici du « mécanicisme » puisqu'il relève d'une longue construction sociohistorique sur laquelle se fonde la biologie de synthèse (Nicholson, 2012 ; Nicholson, 2013).

makers and users of machines, who determine the norms of their operation. (Nicholson, 2013 : 673)

La métaphore machinique, en opérant un rapprochement entre la machine et l'organisme, efface cette distinction. Conçu comme le résultat des interactions entre ses parties, le vivant est lui aussi soumis à une vision déterministe et réductionniste. En effet, tout comme avec la machine, en procédant du « bas vers le haut », il est soutenu qu'on peut arriver à l'explication la plus générale et fondamentale d'un organisme (Allen, 2005). En y parvenant, il est aussi assumé qu'on peut prévoir l'ensemble de son fonctionnement (Nicholson, 2012).

Nicholson insiste sur le fait que la conception mécaniciste a traversé l'ensemble des sciences du vivant depuis le XVII^e siècle. Il situe son émergence à la pensée de René Descartes. Selon celui-ci, c'est seulement en assumant que l'organisme est une machine qu'il est possible de l'étudier et le comprendre.

For Descartes, it is perfectly legitimate to infer the activities of organisms on the basis of our understanding of the workings of man-made machines because he simply assumes that the differences between them are a matter of degree, not of kind. (Nicholson, 2013 : 670)

On retrouve dans ses travaux les premières analogies détaillées entre l'automate et le corps ou encore l'horloge et l'animal (Nicholson, 2013). Malgré l'influence de cette pensée, il faut remarquer que, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, une autre compréhension du vivant était défendue par certains scientifiques : le vitalisme. Faisant écho à la pensée aristotélicienne, les théories vitalistes attribuaient aux êtres vivants une force vitale ou un principe d'animation qui les distinguait fondamentalement des objets inanimés (Allen, 2005 ; Tamminen et Vermeulen, 2019). Puisqu'elle représentait son « antithèse philosophique », l'érosion graduelle du vitalisme, à partir de la fin du XIX^e siècle, a permis la diffusion et la consolidation du mécanicisme (Nicholson, 2012 : 156). Vu la popularité et l'efficacité de la conception mécaniciste dans des domaines comme la physique et la chimie, elle gagna du terrain dans les sciences du vivant, notamment en physiologie, en biologie développementale et en biochimie (Nicholson, 2012). Cela s'inscrivait dans une volonté de « professionnaliser » les sciences du vivant et de les doter du même statut que la physique et la chimie (Allen, 2005 ; Vaage, 2020). À partir de cette époque, selon

Nicholson, la conception mécaniciste du vivant n'avait plus à être théorisée et défendue pour être acceptée. Dépourvus de toute « force vitale », les organismes pouvaient être conçus comme un ensemble de parties qui répondaient à des lois physico-chimiques (Nicholson, 2012).

C'est d'ailleurs dans ce contexte, en 1912, que l'expression « biologie synthétique » fut introduite pour une première fois par le chimiste et biologiste Stéphane Leduc. Selon sa théorie, le vivant ne dépend que de processus chimiques et énergétiques qu'il serait possible de reproduire. À partir de la manipulation de produits chimiques, il élaborait des « jardins chimiques » qui imitaient la structure de certains organismes (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011). Loin des formes que le domaine prend aujourd'hui, la biologie synthétique de Leduc reposait tout de même sur « la contestation d'un seuil entre la matière inanimée et la matière animée, entre l'inerte et le vivant » (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 : 22). Autre scientifique du début du XXe siècle, Jacques Loeb publia la même année *La conception mécanique de la vie*. Il ambitionnait quant à lui « contrôler la reproduction du vivant, soumettre sa production à la rationalité scientifique » (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 : 25). Que la biologie crée son objet au même titre que la chimie de synthèse ; voilà le projet déjà énoncé par Loeb dès le début du XXe siècle. Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys soulignent à juste titre que l'idée de fabriquer artificiellement le vivant est donc bien antérieure à la biologie de synthèse. La représentation mécaniciste du vivant avait déjà entrouvert la porte à l'idée de le décomposer et le manipuler (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Heams, 2011 ; Vaage, 2020).

En somme, les profondes racines historiques de la métaphore machinique du vivant montrent que l'entrée de principes d'ingénierie en biologie est antérieure à la biologie de synthèse des années 2000.

by upholding the [machine conception of the organism] biologists have kept their discipline firmly within the confines of physical science, and historically this has served to ensure the scientific respectability of their inquiries, as well as to legitimate the epistemic transfer of theories, concepts, and methods from more developed, « harder » sciences like physics and chemistry, as well as engineering. (Nicholson, 2013 : 674)

En assimilant l'organisme à un ensemble de « pièces » qui interagissent entre elles, il pouvait apparaître possible non seulement de comprendre son fonctionnement, mais aussi de le manipuler. Plus fondamentalement, la métaphore machinique a induit l'idée que le vivant n'avait pas finalité propre et qu'il pourrait être disponible à un contrôle par l'humain (Nicholson, 2013).

2.1.2. Représentation informationnelle

Nicholson souligne que la métaphore machinique a été reformulée au fil des siècles selon la « machine paradigmatique » qui prévalait à chaque époque (Nicholson, 2013). Chaque type de métaphore a mis l'accent sur certaines propriétés du vivant⁵⁵. Il convient ici de revenir sur la métaphore qui domine les sciences du vivant depuis les dernières décennies. Il s'agit de la métaphore informationnelle qui rapporte le vivant à un ordinateur (ou, plus largement, à un système informationnel). Je montrerai qu'elle constitue une extension et une consolidation de la représentation machinique du vivant.

2.1.2.1. Les fondements du modèle informationnel et l'importance du concept d'entropie.

Le livre *Qu'est-ce que la vie?*, écrit par le physicien Erwin Schrödinger en 1944, a eu une influence considérable sur nos représentations du vivant (Fox Keller, 1999 ; Lafontaine, 2004 ; Nicholson, 2020). Prenant le contrepied des théories vitalistes, son objectif était d'expliquer la vie en termes physico-chimiques, et, plus précisément, dans le cadre de la seconde loi de la thermodynamique⁵⁶. Fondamentale à la physique, cette dernière stipule que « Tout système isolé tend vers un état de désordre maximal, ou vers la plus grande homogénéité possible, par le ralentissement puis l'arrêt des échanges en son sein » (Breton, 1992, cité dans Lafontaine, 2004 : 41). Le questionnement initial de

⁵⁵ Nicholson offre un survol de ces reformulations « organisms have been conceived in accordance with the paradigmatic machine of the age, be it a seventeenth-century clock with its precise finely-tuned parts operating as a functionally-integrated whole, an eighteenth-century steam-engine consuming energy by combustion and performing work whilst producing heat, a nineteenth century chemical factory coordinating and regulating a multitude of interconnected reactions, or a twentieth-century computer processing information about the environment and feeding back appropriate responses » (Nicholson, 2013 : 670).

⁵⁶ Elle fut introduite à la fin du XIXe siècle par le physicien Rudolf Clausius qui observa les pertes d'énergie se produisant au sein de la machine à vapeur. Puis, le physicien Ludwig Boltzmann précisa cette loi en définissant l'entropie comme la mesure statistique du désordre moléculaire dans un système (Jakimowicz, 2020).

Schrödinger pourrait se résumer de la sorte : si la seconde loi de la thermodynamique règne sur l'ensemble de la nature, comment expliquer « l'extraordinaire stabilité de la mémoire génétique » (Fox Keller, 1999 : 70)? Cette mise de l'avant de la stabilité du vivant se fondait sur son assimilation à une machine ; « [Schrödinger] soutient que [...] les organismes sont analogues aux machines, car ces dernières présentent également des structures rigides et à l'état solide capables de résister aux fluctuations aléatoires, ce qui leur permet de fonctionner de manière ordonnée »⁵⁷ (Nicholson, 2020 : 60 [ma traduction]). En utilisant les principes de la thermodynamique pour théoriser les lois de l'hérédité, Schrödinger a conçu les organismes vivants en tant qu'entités caractérisées par leur capacité à échapper à l'entropie, c'est-à-dire leur « résistance à la dégradation » (Fox Keller, 1999 : 94). C'est le chromosome qui est responsable de cette capacité néguentropique. Il contiendrait un « code » qui régirait l'ensemble du développement de l'organisme et assurerait « le mécanisme de la mémoire génétique » (Fox Keller, 1999 : 71). Tout en établissant une analogie avec les principes des télécommunications, cette métaphore a attiré l'attention sur la fonction déterminante et structurante du bagage génétique (contenu dans les chromosomes) (Fox Keller, 1999 ; Lafontaine, 2004). Le contrecoup de la diffusion de cette théorie fut toutefois d'effacer l'impact de l'environnement sur les organismes et de négliger les phénomènes relatifs à leur taille microscopique⁵⁸ (Nicholson, 2020). Quoi qu'il en soit, le livre de Schrödinger exerça une influence considérable sur les chercheurs en biologie moléculaire vers le milieu du XXe siècle⁵⁹ (Segal, 2003). En somme, « malgré l'aspect synthétique, imprécis et spéculatif de cet ouvrage, le modèle mécaniste du vivant qu'il propose pose les bases conceptuelles du

⁵⁷ « [Schrödinger] argues that in this crucial respect organisms are analogous to machines, as the latter likewise exhibit rigid, solid-state structures capable of resisting random fluctuations, enabling them to operate in an orderly way » (Nicholson, 2020 : 60).

⁵⁸ Nicholson résume ces conséquences « Schrödinger's deliberations led him to conclude that the solid-state, crystal structure of the genetic material renders it impervious to the physical forces that exert the greatest effect at the microscopic scale. [...] What I want to suggest here is that the influence of this idea – which is central to Schrödinger's argument in *What is Life?* – is responsible, at least in part, for molecular biology's subsequent neglect of the importance of scale. Just as Schrödinger had done with genes, molecular biologists went on to focus on the structure of proteins and other macromolecular assemblies (using methods such as X-ray crystallography), drawing attention to their crystal-like stability and rigidity, emphasizing their functional specificity, and ignoring the chaotic, destabilizing influences of their surroundings » (Nicholson, 2020 : 60-61).

⁵⁹ Nicholson met en lumière les liens directs entre *What is Life?* et les théories de Jacques Monod, scientifique majeur de la biologie moléculaire (voir Nicholson (2020)).

paradigme informationnel en biologie » (Lafontaine, 2004 : 199-200). Définissant le vivant selon les échanges d'informations, Schrödinger a également mis l'accent sur son caractère néguentropique. Ce n'est toutefois qu'avec l'influence de la cybernétique dans l'après-guerre que la représentation informationnelle a gagné toute sa puissance.

Dans la deuxième moitié du XXe siècle, l'impulsion des développements technomilitaires a entraîné un fort engouement pour la cybernétique, c'est-à-dire la « science du contrôle, de la communication » (Lafontaine, 2004 : 24) chez l'humain, l'animal et la machine (Lafontaine, 2004). Elle s'appuie sur la notion d'information qui fut d'abord conceptualisée par l'ingénieur et mathématicien Claude Shannon. Travaillant aux laboratoires Bell dans les années 1940, il s'intéressait à la transmission efficace et fiable de signaux sur les lignes télégraphiques de la compagnie (Fox Keller, 1999 ; Segal, 2003). C'est en 1948 qu'il publie deux articles où il développe sa « théorie mathématique de la communication » basée sur 23 théorèmes permettant de quantifier mathématiquement l'information et de la traduire en langage binaire (Dahling, 1957 ; Fox Keller, 1999 ; Lafontaine, 2004). Ayant une dimension opérationnelle, sa théorie détachait l'information de toute fonction, signification ou intention déterminée par son émetteur (Fox Keller, 1999 ; Hayles, 1999 ; Lafontaine, 2004). Bien que la théorie de Shannon fût conçue pour s'appliquer au domaine technique de la communication, elle fut récupérée par un vaste ensemble de disciplines (électronique, physiologie, psychologie, linguistique, etc.) (Dahling, 1957). Avec la diffusion des théories cybernétiques, la notion d'information est sortie de son cadre formel et mathématique (Fox Keller, 1999 ; Segal, 2003). Pour reprendre l'expression de l'historien Jérôme Segal, cette diffusion a mené à une « axiomatisation » de la notion d'information (Segal, 2003). L'information, non plus un concept mathématique, est devenue une métaphore pour penser plusieurs phénomènes psychologiques, biologiques, linguistiques, sociaux, etc. (Dionysius Geoghegan, 2019 ; Segal, 2003). Depuis le milieu du XXe, c'est une véritable matrice pour penser le monde qui s'est développée à partir de la cybernétique (Lafontaine, 2004). C'est à travers le concept d'entropie qu'il est possible d'en comprendre l'importance. Avec le paradigme cybernétique, l'entropie fut conçue en tant que désordre informationnel. Selon l'influent mathématicien Norbert Wiener, surnommé le « père de la cybernétique », la quantité et

l'organisation de l'information d'un système (qu'il soit physique, biologique ou social) équivalaient à la mesure de son degré d'équilibre⁶⁰. Loin d'être resté cantonné à la physique, le concept d'entropie a été posé comme une « vérité métaphysique » (Lafontaine, 2007 : 31) dans l'imaginaire des sociétés contemporaines⁶¹. D'un même mouvement, la diffusion de la pensée cybernétique a participé à mettre en valeur la capacité néguentropique du vivant (déjà formulée par Schrödinger) (Fox Keller, 1999 ; Hayles, 1999 ; Lafontaine, 2014a).

2.1.2.2. L'entrée du modèle informationnel en biologie moléculaire.

Dans les sciences du vivant, la diffusion du modèle informationnel s'est d'abord amorcée au sein d'une discipline en pleine effervescence dans les années 1950 : la biologie moléculaire. Comme son nom l'indique, cette discipline étudie le vivant à son niveau le plus élémentaire, soit au niveau des molécules qui le composent⁶² (Lafontaine, 2004). Pour reprendre les termes de l'historienne des sciences Evelyn Fox Keller, le modèle informationnel s'y est propagé par l'« usage métaphorique » de son lexique⁶³ (Fox Keller, 1999). Certains concepts provenant directement de la cybernétique ont été utilisés pour expliquer une série de découvertes majeures (Kay, 2000). À titre d'exemple, on peut mentionner la découverte de James Watson et Francis Crick en 1953. Ces deux biologistes de renom ont marqué l'histoire de la biologie en mettant au jour la double structure en hélice de l'ADN. En empruntant directement aux concepts cybernétiques, ils ont introduit la notion d'« information génétique » pour parler de l'ADN (Kay, 2000 ; Lafontaine, 2004). Cette définition, comme Fox Keller le rappelle, était de l'ordre métaphorique puisque « la

⁶⁰ Dans les mots de l'historien des sciences Bernard Dionysius Geoghegan, « Wiener a identifié l'information avec l'entropie négative, c'est-à-dire la prévisibilité et l'ordre d'un système de communication » (Dionysius Geoghegan, 2019 : 144 [ma traduction]). Pour une analyse comparative de la notion d'information dans la pensée de Shannon et Wiener, voir « Architectures of information. A comparison of Wiener's and Shannon's theories of information » (Dionysius Geoghegan, 2019).

⁶¹ Voir *L'empire cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine* (Lafontaine, 2004).

⁶² L'expression « biologie moléculaire » a été formulée pour une première fois en 1938 par le physicien et mathématicien Warren Weaver (Lafontaine, 2004). Globalement, son introduction « atteste d'une volonté de transposer la rigueur théorique et méthodologique de la physique aux sciences de la vie » (Lafontaine, 2004 : 197). Comme l'explique l'historien des sciences Hans-Jörg Rheinberger, c'est dans les années 1950 que la discipline s'est réellement consolidée (Rheinberger, 2008b). Cela correspond à l'entrée du modèle informationnel en biologie moléculaire (Rheinberger, 2008a ; Lafontaine, 2004 ; Kay, 2000 ; Fox Keller, 1999).

⁶³ Fox Keller détaille ce processus dans son livre *Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie* (1999). Voir également *Who Wrote the Book of Life?* (Kay, 2000).

définition technique⁶⁴ de l'information ne pouvait tout simplement pas recouper celle de l'information biologique » (Fox Keller, 1999 : 40). En fait, l'information contenue dans les gènes ne pouvait être mesurée quantitativement. Malgré tout, cela n'a pas empêché la notion d'« information génétique » d'être largement utilisée et popularisée au sein des sciences du vivant (Fox Keller, 1999). C'est via ce type d'emprunts que s'est renforcée l'idée que l'ADN représenterait un « code » génétique qui agit comme le « centre de contrôle » de l'organisme (Lafontaine, 2004). Cette représentation est au cœur du fameux « dogme central » formulé par Crick en 1958. Celui-ci pose que l'ADN correspond à la production de l'ARN qui correspond lui-même à la production d'une protéine (Fox Keller, 1999 ; Lafontaine, 2004). En raison de l'influence de la cybernétique, ces correspondances ont été conçues en tant qu'échanges d'informations se transmettant de manière unidirectionnelle. Ainsi, d'après le dogme central, l'« information génétique » contenue dans l'ADN code pour l'ensemble des protéines d'un organisme, et ce, sans qu'il n'y ait d'influence de l'environnement extérieur. Cette conception a donc hissé l'ADN au titre de « master molecule » (Fox Keller, 2017 : 340) qui contrôle l'ensemble de l'organisation et du fonctionnement d'un organisme (Fox Keller, 1999 ; Fox Keller, 2017 ; Lafontaine, 2004 ; Thacker, 2005). Comme le rappelle Brian Wynne, si le dogme central concernait l'action des gènes, il est devenu, à tort, une théorie prise pour expliquer l'entièreté de la vie biologique. Cela a animé les tendances au réductionnisme génétique ou au « tout génétique » dans les sciences du vivant (Wynne, 2005). Selon cette conception, l'organisme serait entièrement déterminé par des processus de stockage, de transmission et d'expression de l'information contenue dans son « code » génétique. Ainsi, depuis les années 1970, comprendre et agir sur le code génétique semble équivaloir à comprendre et agir sur la vie en elle-même⁶⁵ (Lafontaine, 2014a ; Rheinberger, 2008a). Avant de continuer, il est pertinent de souligner qu'aujourd'hui, le dogme central est réfuté. Les développements⁶⁶ de la génomique ont mis en lumière la complexité des relations entre les

⁶⁴ Fox Keller (1999) fait ici référence à la définition technique de l'information formulée par Shannon. Elle note que, dès 1952, certains généticiens avaient reconnu que cette notion ne pouvait pas s'appliquer à la biologie. « La notion d'information génétique invoquée par Watson et Crick n'était donc pas littérale mais métaphorique. Elle n'en était pas moins extrêmement puissante » (Fox Keller, 1999 : 40).

⁶⁵ Dans la prochaine section, je montrerai que c'est surtout avec le génie génétique (et les domaines qui s'inscrivent dans son héritage, comme la biologie de synthèse) que cette représentation a été populaire.

⁶⁶ Entre autres, les avancées rendues possibles par le Projet Génome Humain ont réfuté le dogme central. Elles ont montré que le nombre total de gènes d'un être humain était beaucoup moins élevé que ce qui avait

gènes, les protéines et l'environnement (Hellsten et Nerlich, 2004). Malgré tout, les métaphores héritées du dogme central sont demeurées profondément enracinées dans l'imaginaire contemporain (Hellsten et Nerlich, 2004 ; Turney, 2005 ; Wynne, 2005).

Dans la lignée du modèle informationnel, la métaphore de l'ordinateur fut, à partir des années 1970-1980, la représentation la plus répandue pour concevoir le vivant (Fox Keller, 1999 ; Nicholson, 2012 ; Nicholson, 2013). Cette époque a été fortement marquée par l'informatique⁶⁷, dont les développements s'inscrivent directement dans le cadre théorique de la cybernétique⁶⁸. Les innovations engendrées furent importantes au point où, à la « fin du XXe siècle, c'est l'ordinateur qui règne sur notre imagination » (Fox Keller, 1999 : 146). C'est dans ce contexte que la métaphore de l'ordinateur, machine informationnelle par excellence, a été scientifiquement et culturellement efficace pour représenter le vivant (Fox Keller, 1999). À l'image de l'ordinateur, les organismes seraient constitués d'un *software* et d'un *hardware*. Selon cette métaphore, le *software* ou le « programme⁶⁹ » contient les « informations » génétiques qui déterminent l'entièreté du développement et de l'organisation des processus biologiques⁷⁰ (Nicholson, 2019). Pour Nicholson, cette conception relève toujours du mécanisme puisque la comparaison entre la machine (l'ordinateur) et le vivant est ontologisée (Nicholson, 2012 ; Nicholson, 2013).

été hypothétisé. De plus, elles ont montré l'existence de « régions non codantes » (des gènes qui ne correspondent pas à la production d'une protéine) (Fox Keller, 2003). La mise en lumière de tels phénomènes a démontré que le dogme central ne tenait pas (voir Hellsten et Nerlich, 2004).

⁶⁷ Ce domaine a été rendu possible par les recherches militaires et les investissements publics dans la période de l'après-guerre, notamment aux États-Unis (Rheinberger, 2008b).

⁶⁸ À ce sujet, voir *Le zéro et le un: Histoire de la notion scientifique d'information au XXe siècle* (Segal, 2003).

⁶⁹ La notion de « programme » génétique a d'abord été introduite par les biologistes Jacques Monod et François Jacob (Kay, 2000 ; Segal, 2003). Leur découverte en 1961 de l'ARN messager a permis d'éclaircir la relation entre l'ADN, l'ARN et la synthèse de protéines (Morange, 1994). Ces deux biologistes ont eux aussi repris des métaphores informationnelles pour expliquer leur découverte. Monod et Jacob ont insisté sur le rôle déterminant de l'« information génétique » (Lafontaine, 2004). La notion de « programme génétique » fut utilisée pour parler du bagage génétique qui commande l'organisme (Kay, 2000).

⁷⁰ Tout comme un programme informatique, il commanderait l'exécution d'un système tout en étant indépendant du reste de ses composants (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Lafontaine, 2004). L'information génétique devient ici une instruction, voir un ordre, puisque « l'exclusivité de la programmation et de l'exécution [est laissée] au génome » (Fox Keller, 1999 : 124). Le reste de l'organisme, l'*hardware*, serait constitué de divers mécanismes décomposables qui répondent aux instructions fournies par le « programme génétique » (Nicholson, 2019).

Comme je l'illustrerai dans les prochaines pages, l'imaginaire de la bioéconomie s'est fortement nourri des représentations informationnelles du vivant. En commençant avec les balbutiements du génie génétique lors des années 1970 jusqu'à la biologie de synthèse des années 2000, le projet de maîtrise du vivant est devenu indissociable du « vivant informationnel ». Cette représentation a « appuyé et renforcé une représentation réductionniste du vivant, décrivant les comportements de l'organisme ou de la cellule comme le résultat, même complexe, de leurs parties précisément réglées [fine-tuned parts] » (Heams, 2015 : 6 [ma traduction]). Ainsi, elle a rendu pensable et désirable l'idée qu'il était possible de déconstruire, manipuler ou « programmer » les organismes à l'échelle moléculaire. Surtout, c'est sur les gènes que semblaient se canaliser les espoirs de contrôler le vivant (Heams, 2013).

2.1.3. La mise en acte des représentations à travers le génie génétique

Si j'ai précédemment élucidé l'infiltration du modèle informationnel sur le pendant théorique de la biologie moléculaire, il reste à retracer son impact pratique. Cela s'est fait à partir du début des années 1970 via l'émergence d'un ensemble de techniques réunies sous le nom de « génie génétique ». Comme l'a établi Lafontaine, ce domaine représente « la mise en chair des métaphores cybernétiques » (Lafontaine, 2004 : 207). En effet, les techniques de manipulation du vivant ont concrètement participé à sa déconstruction en pièces détachées – déjà imaginée par la biologie moléculaire (Fox Keller, 1999 ; Lafontaine, 2004). Elles mettent en acte

des visées pragmatiques de transformation, d'amélioration et de correction du bagage génétique des individus et des espèces. Devenus de purs processus informationnels, les êtres, comme les choses, sont ainsi soumis à une puissance combinatoire qui tend à abolir concrètement les barrières entre les espèces. (Lafontaine, 2004 : 207)

L'émergence du génie génétique est généralement associée au moment où les premières enzymes de restriction, des protéines pouvant sectionner une séquence d'ADN, ont été identifiées et caractérisées⁷¹. Elles appartiennent aux « technologies d'ADN

⁷¹ Trois scientifiques sont associés à la découverte de ces enzymes et à leur utilisation dans des expérimentations au tout début des années 70 : Werner Arber, Hamilton O. Smith et Daniel Nathans, tous nobélisés de physiologie en 1978. Pour l'historien des sciences Michel Morange, c'est toutefois une expérience de 1972 menée par Paul Berg, David Jackson et Robert Symons à l'Université de Stanford qui marque officiellement le début du génie génétique. Ces chercheurs ont mis au point *in vitro* un molécule

recombinant »⁷² qui permettent le transfert d'une séquence génétique d'un organisme vers un autre. La conférence d'Asilomar de 1975 a également joué un rôle crucial dans la consolidation du génie génétique. Souvent remémorée comme un événement symbolisant l'autorégulation du domaine scientifique, cette conférence a réuni plus d'une centaine de chercheurs venus pour élaborer un cadre réglementaire aux expériences ouvertes par les techniques du génie génétique⁷³. Si certaines polémiques autour de la manipulation génétique émergèrent dans l'arène publique *a posteriori* de cette conférence, plusieurs expérimentations couronnées de succès ont plutôt cimenté l'intérêt envers le génie génétique. La période allant de 1975 à 1980 a été la scène de l'élaboration et de l'amélioration d'une foule de techniques de modification génétique. Entre autres, la synthèse de certains produits⁷⁴ par des bactéries génétiquement modifiées a grandement attiré l'attention des scientifiques et du public. Puis, l'année 1980 a vu « naître » les premières plantes transgéniques suivies de peu par les premiers animaux transgéniques (des souris) en 1981 (Morange, 1994).

Selon l'historien des sciences Hans-Jörg Rheinberger, ces événements forment un « assemblage⁷⁵ » qui s'inscrit dans une transformation plus large au sein du champ des

hybride formé de l'ADN d'un virus (SV40) ainsi que de l'ADN d'un bactériophage (λ) qui avait déjà été lui-même modifié pour contenir une portion d'ADN de la bactérie *Escherichia Coli*. « Ce qui fait l'originalité de l'article publié par Paul Berg, c'est la réunion d'un résultat important, d'une grande richesse de technique et d'une présentation très claire des perspectives ouvertes par le travail » (Morange, 1994 : 243). La valeur fondatrice de cette expérience réside également dans le fait que plusieurs enzymes, qui seront largement utilisées dans le génie génétique, y sont utilisées conjointement (Morange, 1994).

⁷² En plus des enzymes de restriction, elles comprennent des « enzymes de transcription, de réplication et de ligature ; plasmides, cosmides, chromosomes artificiels, et autres systèmes de transport moléculaire » (Rheinberger, 2008a : 24 [ma traduction]).

⁷³ À l'époque, c'était surtout l'utilisation de virus oncogènes (dont faisait partie le virus SV40 qu'avait utilisé Berg et ses collaborateurs) qui inquiétait vu la possibilité de diffuser ces virus cancérigènes. La conférence a proposé une série de mesures de confinement pour chaque type d'expérimentations (Morange, 1994).

⁷⁴ À titre d'exemple, on peut mentionner la somatostatine, l'insuline et l'hormone de croissance (Morange, 1994).

⁷⁵ Rheinberger reprend la définition d'un « assemblage » de l'anthropologue Paul Rabinow : « an assemblage “emerges out of a lot of small decisions; decisions that, for sure, are all conditioned, but not completely predetermined” (2004: 63). “From time to time,” he continues in another essay, “new forms emerge that have something significant about them, something that catalyzes previously present actors, things, institutions into a new mode of existence, a new assemblage, an assemblage that ma[k]e[s] things work in a different manner” (2000: 44) » (Rheinberger, 2008b : 304, citant Rabinow, 2000). Selon Rheinberger, la biologie moléculaire ne constitue pas un projet unifié et linéaire. Ses développements constituent plutôt des « assemblages » catalysés par des séries de décisions, de découvertes, d'outils, de méthodes, etc. En ce sens, il situe

sciences du vivant : l'opérationnalisation du savoir (Rheinberger, 2008b ; Thacker, 2001). Alors que les précédents travaux de la biologie moléculaire visaient surtout l'avancée des connaissances, le génie génétique est entièrement tourné vers le développement et le perfectionnement de techniques d'intervention sur les organismes vivants. Sous ce chef, le génie génétique est bel et bien une technoscience. Pour le démontrer, le philosophe Eugene Thacker reprend l'exemple de l'expérimentation de Stanley Cohen et d'Herbert Boyer. Ensemble, en 1973, ces deux biologistes ont mis au point les procédures permettant de « couper » un gène à un site précis. Ils ont ensuite breveté leurs techniques et ont fondé Genentech, reconnue comme la première compagnie biotechnologique (Thacker, 2005).

such genetic engineering experiments are the first explicit examples of a « bio-technology » : the technical design, engineering, and application of biological life. [...] the Boyer-Cohen experiments are the first such instances to effectively combine modern life science research with an engineering perspective, a paradigmatic look towards the technological control over the body-as-nature. (Thacker, 2001 : 2)

Étant donné sa visée opérationnelle, Thacker affirme que l'ingénierie du vivant est indissociable du développement de l'industrie biotechnologique. Dès ses débuts, la capacité à manipuler le vivant au niveau de ses gènes a été « couplée à un plan d'affaires et une industrie émergente » (Thacker, 2005 : 2). Plus largement, le projet de contrôler les processus biologiques a été une condition de possibilité pour imaginer leur mise en ressource (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a). Effectivement, « ce n'est qu'à partir d'une décomposition, d'une manipulation et d'une transformation technoscientifique que [l]es organismes acquièrent une plus-value économique » (Lafontaine, 2014b : 33). Les prochaines pages exploreront plus en profondeur cette mise en ressource ainsi que ses conditions politiques et économiques. Je m'appuierai notamment sur les travaux de Melinda Cooper, de Sunder Kaushik Rajan et de Céline Lafontaine. Je mettrai en évidence que la bioéconomie est indissociable du régime néolibéral, qui constitue également le cadre politico-économique dans lequel a pris essor la biologie de synthèse.

historiquement deux principaux assemblages qu'il appelle le *classical molecular biological shift* ainsi que le *gene technological shift* (voir Rheinberger, 2008b).

2.2. Le vivant comme ressource dans l’imaginaire de la bioéconomie

2.2.1. Biotechnologies et régime néolibéral : une dynamique de coproduction

Si les techniques de manipulation génétique avaient suscité la fascination du public à partir des années 1970, elles étaient encore loin de pouvoir donner lieu à des produits commercialisables à large échelle. La complexité des manipulations techniques ainsi que les résultats limités des expérimentations posaient de sérieuses barrières au développement à large échelle de l’industrie des biotechnologies. À l’époque, le secteur naissant des biotechnologies avait « peu de crédibilité [...] en tant que modèle d’affaires » (Sunder Rajan, 2012 : 2). Dans ce contexte, comment expliquer les investissements massifs qui ont été faits dans ce secteur dès les années 1970-1980⁷⁶? Comment expliquer la formulation d’un modèle économique basé sur l’exploitation des processus biologiques? Dans les mots de l’anthropologue Kaushik Sunder Rajan, il y a eu une coproduction entre, d’un côté, le développement des techniques de manipulation génétiques et, de l’autre, l’avènement du régime néolibéral dans les années 1970-80 (Sunder Rajan, 2012). Il faut revenir sur ce phénomène pour comprendre comment l’application d’un modèle d’ingénierie au vivant a été connectée à sa mise en ressource. Cela permettra en même temps de voir comment l’imaginaire de la croissance verte a été présent lors des toutes premières formulations du modèle bioéconomique.

Le tournant néolibéral est relié à la diversification, la globalisation, la dérégulation et la financiarisation des marchés. Il succède à plusieurs perturbations qui ont remis en question le modèle de production fordiste aux États-Unis. Ce dernier constituait un modèle industriel basé sur la rationalisation de la production ainsi que sur une division rigide du travail. Dans la période de l’après-guerre, il a assuré la croissance économique via une production et une consommation de masse. Le rôle de l’État était alors de réguler l’économie via l’investissement dans des services publics (éducation, santé, logement, etc.) et la réglementation des marchés (Harvey, 1989). Des symptômes de la crise du fordisme sont apparus vers les années 1970 : inflation, saturation des marchés, baisse globale des

⁷⁶ Le gouvernement américain, dirigé par Ronald Reagan, mit sur pied une série de réformes qui a permis des investissements massifs dans les biotechnologies, voir Cooper (2008). De plus, des universités et plusieurs groupes de capital-risque ont investi dans ce secteur, voir Sunder Rajan (2012).

profits⁷⁷. Pour comprendre l'attrait des biotechnologies, il faut souligner un aspect particulier de cette crise, soit la constatation des limites au développement industriel basé sur l'exploitation des ressources fossiles. En 1972, un important rapport écrit par le Club de Rome, réunissant des scientifiques et des industriels, provoqua une remise en question du système de production industrielle. Intitulé *Halte à la croissance ?* ou *Les limites à la croissance*, ce rapport faisait état des limites au mode de production capitaliste. Le rapport montrait que 97% de l'ensemble de la production américaine était dépendant des énergies fossiles, c'est-à-dire du pétrole, du gaz naturel et du charbon (Cooper, 2008). L'ensemble des prédictions allaient dans un même sens : l'épuisement de ces ressources non renouvelables ainsi que l'accumulation de déchets non biodégradables étaient deux limites indépassables au modèle de croissance économique. La conclusion du rapport était que le développement exponentiel de la population et de l'industrie était fondamentalement insoutenable (Cooper, 2008). En plus, les années 1973 et 1979 ont été marquées par des chocs pétroliers qui ont aussi sérieusement remis en question la viabilité de l'industrie pétrochimique (Cooper, 2008). En somme, l'ensemble d'un modèle de croissance économique presque entièrement basé sur les énergies fossiles semblait inévitablement atteindre ses limites. Bien qu'elle constitue un phénomène hautement complexe, la mise en place du néolibéralisme peut se lire en partie comme une réponse aux limites posées au modèle de croissance fordiste⁷⁸ (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a).

Pour le géographe et économiste David Harvey, la transition du fordisme au néolibéralisme a été caractérisée par : « l'émergence de secteurs de production

⁷⁷ Pour une analyse détaillée de cette crise, voir le chapitre « From Fordism to flexible accumulation » dans *The Condition of Postmodernity: An Enquiry in the Origins of Cultural Change* (Harvey, 1989).

⁷⁸ Aux fins de ce travail, je me concentre sur une dimension particulière de la mise en place du néolibéralisme : les politiques économiques dont la visée est de dépasser les limites (économiques et écologiques) posées au modèle fordiste. Comme je l'expliquerai dans les prochaines pages, la bioéconomie doit se comprendre en fonction de ces politiques. Cette lecture est toutefois partielle et ne peut pas expliquer l'ensemble de la mise en place du néolibéralisme. Le tournant néolibéral résulte d'un ensemble complexe de conditions politiques, économiques, sociales, culturelles et idéologiques. Pierre Dardot et Christian Laval font ressortir cette dynamique : « Le tournant s'est amorcé sous la pression de certaines conditions, sans que personne ne songe encore à un nouveau mode de régulation à l'échelle mondiale. Notre thèse est que cet objectif s'est constitué au cours de l'affrontement lui-même, qu'il s'est imposé à des forces très différentes en raison même de la logique de l'affrontement, et qu'à partir de ce moment il a joué le rôle d'un catalyseur en offrant un point de ralliement à des forces jusque-là relativement dispersées » (Dardot et Laval, 2010 : 276). Pour une analyse de la mise en place du néolibéralisme, voir le chapitre « Le grand tournant » dans *La nouvelle raison du monde* (Dardot et Laval, 2010).

complètement nouveaux, de nouvelles manières de fournir des services financiers, de nouveaux marchés et, par-dessus tout, des taux d'innovation commerciale, technologique et organisationnelle fortement intensifiés » (Harvey, 1989 : 147 [ma traduction]). Dans ce contexte, les biotechnologies semblaient remplir adéquatement les critères du modèle économique néolibérale (Bensaude-Vincent, 2004). En effet, elles représentaient une possibilité d'ouvrir de nouveaux centres de profits qui ne dépendaient pas de l'exploitation de ressources fossiles. Plusieurs grandes industries (agroalimentaires, chimiques, pharmaceutiques) reposant sur l'exploitation de ressources pétrochimiques ont investi dans le secteur des biotechnologies⁷⁹. Ayant rencontré des déclinés en termes de profits, les biotechnologies représentaient pour ces compagnies une manière de se « réinventer » en développant de nouvelles sources de profits (Cooper, 2008 ; Kenney, 1986). Le développement d'une véritable industrie autour des biotechnologies ne peut toutefois pas s'expliquer entièrement par cet engouement. Comme je l'ai indiqué plus haut, le secteur des biotechnologies était encore embryonnaire. Ce n'est qu'avec une logique d'investissement hautement spéculative que l'industrie des biotechnologies a pu se développer dans les années 1980. Ce phénomène fait ressortir une dimension fondamentale de l'imaginaire de la bioéconomie : l'économie de la promesse.

2.2.2. L'économie de la promesse

Dans son ouvrage *Life as Surplus : Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*, Melinda Cooper fait état de la coproduction entre le secteur des biotechnologies et le capitalisme néolibéral. Elle y démontre que la transformation du régime d'accumulation a rendu possible l'essor de l'industrie biotechnologique⁸⁰ (Cooper, 2008). Ce nouveau régime est axé sur la logique spéculative qui caractérise la financiarisation des marchés. C'est l'évaluation de profits futurs qui suscite des investissements et qui, de ce fait, organise la production (Aglietta et Orléan, 2002). Cela explique la contradiction entre, d'un côté, la valeur donnée au secteur biotechnologique sur les marchés financiers et, de l'autre

⁷⁹ À partir des années 1980, des investissements significatifs ont été fait de la part de grandes industries telles que Monsanto, Du Pont et Chevron. Pour un historique détaillé, voir *Biotechnology: The University Industrial Complex* (Kenney, 1986).

⁸⁰ En plus d'une perspective sociohistorique, Cooper montre les emprunts et les résonances épistémologiques entre l'industrie des biotechnologies et le régime néolibéral. Pour cette analyse, voir *Life as Surplus. Biotechnology in the Neoliberal Era* (Cooper, 2008).

côté, les faibles revenus générés par la commercialisation de ses produits⁸¹ (Birch, 2017). La création de valeur se fait, non pas par la commercialisation, mais bien par la spéculation (Birch, 2017). « Conséquemment, la valeur est constituée principalement par les pratiques sociales des acteurs politico-économiques qui configurent la valeur financière et l'évaluation des entreprises » (Birch, 2017 : 462 [ma traduction]). Pour comprendre comment cette logique est constitutive de la bioéconomie, il est pertinent de faire appel à la notion de « promesse » (Audétat, 2015 ; Joly, 2015 ; Lafontaine, 2014a).

Selon la définition de l'économiste et sociologue Pierre-Benoît Joly, une promesse technoscientifique se décline en deux opérations essentielles. La première consiste en l'identification et la légitimation (par les technoscientifiques) d'un problème sociétal à résoudre et de sa solution. La deuxième caractéristique de la promesse est la crédibilité qu'elle doit représenter. Plusieurs ressources peuvent être mobilisées pour assurer la crédibilité d'un projet : la validité scientifique, les chercheurs impliqués, l'appel à des succès passés, etc. Or, comme le remarque Joly, ces moyens sont de moins en moins nécessaires. Souvent, la naturalisation du progrès technoscientifique assure la crédibilité d'une promesse (Joly, 2015). Selon la thèse du sociologue Marc Audétat, la multiplication des promesses technoscientifiques a d'abord dépendu d'un contexte de compétition pour l'obtention de financements de recherche. Dans la seconde moitié du XXe siècle, la mise en place de grands programmes nationaux a affirmé l'importance du rôle de l'innovation technoscientifique pour la nation⁸². Devant assurer la compétitivité et la croissance économique de la nation, le milieu technoscientifique a été soumis à une véritable compétition pour les investissements (Audétat, 2015). Désormais, au sein du régime néolibéral, il est question d'une véritable économie de la promesse (Audétat, 2015 ; Joly,

⁸¹ Pour certains penseurs des sciences sociales, la « révolution biotech » n'a jamais existé ; les innovations (surtout dans le domaine biomédical) et les retombées économiques promises ne sont pas advenues (voir « The myth of the biotech revolution » (Nightingale et Martin, 2004) et « Rethinking Value in the Bioeconomy: Finance, Assetization, and the Management of Value » (Birch, 2017)).

⁸² À titre d'exemple, c'est dans cet esprit que l'important rapport *Science, the Endless Frontier* (1945) rédigé par Vannevar Bush, ingénieur et conseiller scientifique américain, fut formulé. Celui-ci appelait à stimuler l'innovation via d'importants financements de la part du gouvernement (Audétat, 2015). Le rapport de Bush eut un impact significatif sur les politiques d'innovation aux États-Unis. Sous ses recommandations, la National Science Foundation (NSF) fut créée cinq ans plus tard par le gouvernement de Harry S. Truman (NSF, 2020).

2015 ; Lafontaine, 2015). Elle consiste en « l'intensification et [...] la systématisation du recours à de telles anticipations pour gouverner la recherche scientifique et technique » (Joly, 2015 : 39). Attirant les financements, les promesses agissent « comme une bulle spéculative qui se surimpose à la recherche et à l'innovation » (Audétat, 2015 : 12). Elles sont performatives puisqu'elles déterminent en amont quels projets seront valorisés, permis et financés (Audétat, 2015). De cette manière, elles engendrent une « futurisation du présent », c'est-à-dire la mobilisation de ressources pour « la réalisation d'un avenir technoscientifique espéré » (Lafontaine, 2021 : 63). Dans le cas de la bioéconomie, la mobilisation des ressources a résulté des promesses de manipulation technoscientifique du vivant. Dès ses débuts, le génie génétique a été valorisé grâce aux espoirs d'applications médicales, énergétiques et agricoles qu'il projetait (Cooper, 2008 ; Thacker, 2005). L'industrie qui s'est constituée autour de ce domaine technoscientifique ne promettait rien de moins que d'être le « nouveau moteur de la croissance » (Eversberg, Holz et Pungas, 2022 : 2).

Pour témoigner du rôle central de l'économie de la promesse dans la mise en ressource du vivant, deux mesures politico-légales doivent être mentionnées. Premièrement, l'arrêt *Diamond c. Chakrabarty*, émis par la Cour suprême des États-Unis en 1980, a ouvert la porte à la privatisation du vivant à travers sa brevetabilité⁸³. Un organisme – une bactérie modifiée capable de synthétiser du pétrole – fut l'objet d'un brevet. Créant un précédent pour l'industrie biotechnologique⁸⁴, la Cour suprême des États-Unis a affirmé qu'il était possible de détenir un droit de propriété sur un organisme si celui-

⁸³ Avant cet arrêt, le brevetage d'entités biologiques était réservé aux semences végétales. Le *Plant Patent Act* de 1930 accordait des droits de propriété intellectuelle sur des semences dont les nouvelles caractéristiques étaient attribuables à une sélection. En 1980, la décision de la Cour suprême a considérablement élargi le droit de propriété sur le vivant. À ce sujet, voir « Taking Life. Private Rights in Public Nature » (Jasanoff, 2012).

⁸⁴ En 1987, la possibilité de brevetage s'est étendue aux organismes multicellulaires. Le premier mammifère breveté est la célèbre *OncoMouse*, une souris modifiée génétiquement qui est plus susceptible de développer un cancer (et qui est utilisée comme modèle dans les recherches sur le cancer). L'*OncoMouse* illustre un exemple éloquent d'un objet technoscientifique : « it is reproducible only to the design specifications of its distributors, it does not represent the disease process of breast cancer as it might occur in a human female but it is that disease process. The mouse does not exhibit a phenomenon in isolation, does not present the phenomenon as an object of learning about nature more generally. Instead of extracting general facts from onco mouse and then applying the lessons learned to humans, researchers learn to control and finally cure onco mouse as an entirely self-sufficient dynamic system » (Nordmann, 2006 : 9). Voir aussi Haraway (1997).

ci représentait « une fabrication ou composition de matière non naturelle - un produit de l'humain »⁸⁵ (Diamond v. Chakrabarty, 447 US § 303 (1980), cité dans Calvert, 2010 : 107 [ma traduction]). Ici, la manipulation technoscientifique du vivant constitue un préalable à sa privatisation. De plus, c'est lors de la même année qu'est voté le Bayh-Dole Act aux États-Unis. Ce dernier permet aux laboratoires universitaires financés par des fonds publics de breveter leurs inventions. Les chercheurs furent encouragés (voire obligés) à privatiser leurs inventions par le biais de partenariats industriels ou encore en créant leur propre start-up (Cooper, 2008 ; Stevens et Newman, 2019). Ces deux politiques illustrent l'importance de l'économie de la promesse dans la mise en ressource du vivant :

In the absence of any tangible assets or actual profits, what the biotech start-up can offer is a proprietary claim over the future life forms it might give rise to, along with the profits that accrue from them. In essence then, what these reforms have formalized is the prospective value of promise, turning life science speculation into a highly profitable – indeed rational – enterprise. (Cooper, 2008 : 28)

Cooper rappelle qu'en plus des représentations d'un vivant en pièces détachées, son caractère néguentropique a été mis de l'avant dans la constitution du modèle bioéconomique. Si, de manière générale, avec la pensée de Schrödinger et le modèle cybernétique, l'information équivaut à une entropie négative, cela a pris une importance particulière en biologie vers les années 1970. Avec la seconde cybernétique⁸⁶, le vivant est apparu comme une force qui s'auto-organise, qui s'adapte aux désordres informationnels, qui se complexifie et qui peut se reproduire à l'infini. Cette valeur inhérente au vivant représente un principe générateur de profit à l'ère du néolibéralisme⁸⁷ (Cooper, 2008). Autrement dit, dû à la valorisation de sa capacité néguentropique, le vivant est représenté

⁸⁵ « a nonnaturally occurring manufacture or composition of matter – a product of human » (Diamond v. Chakrabarty, 447 US § 303 (1980), cité dans Calvert, 2010 : 107).

⁸⁶ Avec la cybernétique de seconde vague, c'est à travers l'intérêt pour l'auto-organisation du vivant que la théorie de l'information a pénétré plus en profondeur les sciences du vivant. À ce sujet, voir *How we Became Posthuman* (Hayles, 1999) et *Le corps-marché* (Lafontaine, 2014a).

⁸⁷ Cooper met en relief les emprunts des théories néolibérales aux théories biologiques de l'auto-organisation : « C'est parce que le vivant est néguentropique, semble-t-il, que la croissance économique est sans fin. Et c'est parce que le vivant s'auto-organise que devrions rejeter toute régulation étatique des marchés » (Cooper, 2008 : 42 [ma traduction]). Notamment, l'influent économiste néolibéral Friedrich Hayek emprunta directement à la théorie de l'auto-organisation biologique pour émettre le concept d'« ordres sociaux spontanés » (Segal, 2003 ; Lafontaine, 2014b). Ceux-ci émergeraient des échanges d'informations dans tout système, quelle que soit sa nature. En empruntant à la vision informationnelle, Hayek a proposé que les marchés économiques, tout comme le vivant, s'auto-organisent, notamment par leurs crises (Cooper, 2008).

comme une puissance créatrice quasi illimitée. Ses capacités de maintien et de génération semblent faire de lui une ressource renouvelable qui peut être mise à profit sur les marchés économiques (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010 ; Hausknost et al., 2017 ; Lafontaine, 2014a). Dans la prochaine section, j'expliquerai comment cette représentation a été au cœur de la promotion de la bioéconomie dans les discours institutionnels.

2.3. La double promesse de la bioéconomie

La première formulation de la « bioéconomie » revient à l'économiste Nicholas Georgescu-Roegen (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a). Soutenant que la croissance économique reposant sur l'extraction de ressources fossiles n'était pas viable, sa définition renvoyait au besoin d'une « adaptation à la logique reproductive circulaire ainsi qu'à la temporalité [des] substrats vivants [de la bioéconomie] »⁸⁸ (Eversberg, Holz, Pungas, 2022 : 1 [ma traduction]). Le modèle promu par Georgescu-Roegen dans les années 1970 permettait alors de repenser les bases mêmes du développement économique des sociétés industrielles⁸⁹. Depuis, la signification attachée au concept de bioéconomie s'est radicalement transformée (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a). Dans la vision de l'OCDE (2009), il n'est pas question de remettre en cause le modèle productiviste. À l'heure de l'épuisement des ressources fossiles et de la pollution engendrée, l'objectif est plutôt de redéployer l'économie autour d'un autre ensemble de ressources : les processus biologiques. Cela témoigne d'une volonté implicite de combattre l'entropie, c'est-à-dire la tendance naturelle vers l'épuisement de l'énergie qui guette les sociétés industrielles (Cooper, 2008 ; Grinevald, 2000 ; Lafontaine, 2014a). Dans leur analyse sur les discours⁹⁰ entourant la bioéconomie, les sociologues Dennis Eversberg, Jana Holz et Lilian Pungas

⁸⁸ La pensée de Georgescu-Roegen est associée aux premières formulations du concept de décroissance. Selon celui-ci, la croissance économique illimitée n'est pas viable ni désirable pour le bien-être humain et l'environnement. Ses défenseurs préconisent une diminution de la production et de la consommation à l'échelle globale (Tordjman, 2021 ; Eversberg, Holz, Pungas, 2022).

⁸⁹ Il est intéressant de noter que le rapport « Halte à la croissance ? » est paru quelques mois après l'ouvrage de Georgescu-Roegen *The Entropy Law and the Economic Process*. Georgescu-Roegen a d'ailleurs été membre du Club de Rome. Il s'en est toutefois distancié étant donné l'optimisme technologique et le penchant pour le « développement durable » dont a témoigné le Club de Rome dans les années suivant le rapport de 1972. À ce sujet, voir « Can de-growth be considered a policy option? A historical note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome » (Levallois, 2010).

⁹⁰ Dans leur article, les auteurs ont analysé des rapports de l'OCDE, de l'UE et de certains gouvernements européens depuis 2009 (Eversberg, Holz et Pungas, 2022).

montrent bien que la prise en compte des enjeux environnementaux a gagné en importance depuis 2009. Avec la perspective de catastrophes naturelles imminentes, l'épuisement des ressources et les critiques de certaines ONG, la bioéconomie est posée comme une réponse nécessaire à la crise écologique. La croissance économique est loin d'être devenue marginale dans ces formulations plus récentes de l'imaginaire bioéconomique. Celles-ci soutiennent une logique gagnant-gagnant qui propose de réconcilier économie et écologie. Cependant, « en défendant le narratif gagnant-gagnant de la croissance verte, les politiques bioéconomiques ont offert un moyen d'éviter de faire face à la perspective que la croissance puisse être une partie du problème plutôt que de la solution »⁹¹ (Eversberg, Holz et Pungas, 2022 : 3 [ma traduction]). Le but est donc toujours de poursuivre la même trajectoire de développement industriel, mais sans les produits du pétrole et de ses dérivés (Tordjman, 2021). Dans cet imaginaire, la mise en ressource du vivant semble pouvoir régénérer la croissance économique tout en dépassant ses limites écologiques (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a). Le vivant ayant fait l'objet d'une ingénierie est projeté comme le socle de la croissance économique des sociétés contemporaines de demain. Vu leur caractère néguentropique, mais aussi leur malléabilité, les processus biologiques semblent disposés à être le prochain « moteur de la croissance ». Cet imaginaire s'appuie « sur l'idée selon laquelle la “matière vivante” est une ressource intrinsèquement durable puisqu'elle est intrinsèquement renouvelable, du fait que de nouvelles matières vivantes peuvent être produites ou (re)produites »⁹² (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010 : 2902 [ma traduction]). Le projet de contrôler et manipuler les processus biologiques pour les exploiter est au cœur des promesses de la bioéconomie : production de biocarburants, cultures agricoles plus performantes et résistantes, matériaux biosourcés, etc. Dans cet imaginaire, le processus de la « vie en elle-même » semble pouvoir être mis en ressource. Les représentations machinique et informationnelle sont prégnantes dans ce type de projection :

Within this imaginary, mechanical-informatic metaphors [...] are invested in Nature—which thus represents human qualities usually ascribed to industrial

⁹¹ Dans le même ordre d'idées, les acteurs du FEM, en 2018, ont annoncé que l'humanité vivait la « Quatrième Révolution industrielle ». À la différence des révolutions précédentes, celle-ci, grâce aux innovations technoscientifiques, allait pouvoir « sauver la planète » (Tordjman, 2021).

⁹² « the view that “living matter” is an inherently sustainable resource because it is inherently renewable, in that new living matter can reproduce or be (re)produced » (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010 : 2902).

activities, entities and products. These metaphors narrowly define the social, economic and ecological potential of natural resources—as intensified productivity seeking commercial products suitable for global markets. (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010 : 2913)

En somme, le domaine du vivant est représenté comme un ensemble de ressources malléables et renouvelables qui permettrait de dynamiser la croissance économique (Hausknost et al., 2017).

2.4. Synthèse du retour sociohistorique

Le but du retour sociohistorique a été de dépeindre l’imaginaire de la bioéconomie dans lequel s’inscrit la biologie de synthèse. J’ai d’abord démontré que le projet de faire l’ingénierie du vivant avait des racines historiques profondes. La représentation machinique a été au cœur de la science moderne et a ensuite été réarticulée avec le modèle informationnel. Ces représentations ont nourri l’ambition de contrôler les processus biologiques. En parallèle, le rapprochement entre l’organisme et un système informationnel a mis de l’avant sa capacité à résister à l’entropie. J’ai ensuite montré comment ces représentations se sont articulées au sein de l’imaginaire bioéconomique. Pour ce faire, j’ai mis en évidence les conditions économiques et politiques nécessaires au développement de l’industrie biotechnologique. Cela a mis en lumière la co-construction entre la logique spéculative du régime néolibéral et la mise en place de la bioéconomie. Avant de conclure ce retour sociohistorique, il est pertinent de revenir sur l’arrêt *Diamond v. Chakrabarty*. Décision essentielle au développement de la bioéconomie, cet exemple permet de synthétiser et d’articuler les éléments que j’ai voulu mettre en lumière dans les dernières pages.

En premier lieu, il est intéressant de noter que la modification de la bactérie *Pseudomonas bacterium* lui conférait une capacité à décomposer des éléments du pétrole brut. Ananda Mohan Chakrabarty, alors chercheur chez General Electric, découvrit que certains plasmides étaient capables de dégrader des composés présents dans le pétrole. Les plasmides constituent des molécules d’ADN qui sont indépendantes des chromosomes d’une cellule. En transférant ceux identifiés par Chakrabarty vers la bactérie *Pseudomonas bacterium*, elle acquérait une nouvelle capacité, soit la dégradation du pétrole brut. Pour

son inventeur, le microorganisme « promet un contrôle des déversements pétroliers plus efficace et plus rapide » (Cour Suprême des États-Unis, 1980 [ma traduction]). La perspective de vouloir mieux contrôler les marées noires témoigne du fait que, déjà, en 1980, les potentialités des biotechnologies dans le domaine de l'environnement étaient bien reconnues. Cela dit, c'est essentiellement l'enjeu industriel de la brevetabilité du vivant qui a été important dans ce dossier. La Cour suprême américaine, pour rendre sa décision, s'est en partie basée sur les arguments avancés par Genentech⁹³. Reconnue comme la toute première compagnie biotechnologique (Thacker, 2005), elle se présentait comme « une petite société de capital-risque fondée en Californie en 1976 dans le but de convertir les promesses de l'ADN recombinant en bénéfices concrets dans des domaines aussi variés que la médecine, l'agriculture et l'énergie » (Kiley, 1980 ; [ma traduction]). Dans son argumentaire, Genentech affirmait que :

Plasmids in recombinant bacteria are like carburetors in engines. Properly installed, they permit the bacterial engine to cough into useful life, producing the precious substances whose genetic information they encode. But plasmids are absolutely inanimate. Each building block of the plasmid (and plasmids can be built) is an absolutely dead bench chemical. [...] By every imaginable test, the new plasmids that confer near-miraculous properties on everyday organisms ought to be patentable, just like any other man-made chemical of value. (Kiley, 1980)

Comme l'a soulevé Jasanoff, deux types de représentations du vivant émergent au sein du discours tenu par Genentech (Jasanoff, 2012). D'un côté, les plasmides contenus par la bactérie sont assimilés à de purs composés chimiques « morts » constitués de « blocs de construction ». Ils donnent à la bactérie, s'ils sont « installés adéquatement », certaines fonctions. Pour cette raison, le microorganisme obtenu serait en tout point pareil à un artefact fabriqué par l'humain, et, par conséquent, privatisable. De l'autre côté, Genentech rapporte que les plasmides confèrent au microorganisme des « propriétés quasi miraculeuses ». Ils lui confèrent une « vitalité utile » puisqu'ils lui permettent de produire de « précieuses substances » capables de dégrader des composants du pétrole. C'est aussi pour raison que la bactérie modifiée devrait pouvoir être l'objet d'un brevet. Ainsi, on voit apparaître deux représentations différentes, mais étroitement liées, du vivant. Il est

⁹³ Genentech avait un rôle d'*amicus curiae* (« ami de la Cour ») dans le dossier. L'entreprise a fourni un mémoire sur lequel les juges en faveur du brevetage se sont appuyés (voir « Taking Life. Private Rights in Public Nature » (Jasanoff, 2012)).

comparé à une machine (ou un « engin ») qu'il est possible de construire dans le but de lui faire accomplir certaines fonctions. En même temps, le discours de Genentech attribue un caractère néguentropique à cette « machine ». Sa valeur viendrait du fait qu'elle possède une « vitalité utile » qui, dans ce cas, lui permet de dégrader du pétrole. Or, la modification génétique est préalable au brevetage de la bactérie de Chakrabarty. Sans cette intervention humaine, cette entité reste « absolument inanimée » et n'a pas aucune fonction « quasi miraculeuse ». À travers l'arrêt *Diamond v. Chakrabarty*, capital à la mise en ressource du vivant, on aperçoit l'articulation entre la représentation machinique et informationnelle du vivant, son ingénierie, sa valeur économique spéculative et son utilité environnementale. Pour le reste de ce chapitre, je dépeindrai comment ces éléments se retrouvent au cœur de l'imaginaire de la biologie de synthèse.

3. Retour vers la biologie de synthèse

La biologie de synthèse s'ancre dans l'histoire de la bioéconomie qui vient d'être mise au jour. Elle emprunte d'abord aux concepts et aux théories de la biologie moléculaire et aux techniques du génie génétique (les technologies d'ADN recombinant, l'amplification en chaîne par polymérase⁹⁴, la synthèse de séquences d'ADN, etc.)⁹⁵. De plus, la sociologue Sara Angeli Aguiton montre que les tout premiers projets de la biologie de synthèse ont bénéficié des importants financements accordés à l'industrie des biotechnologies au début des années 2000. À cette époque, un puissant discours de la promesse s'est constitué autour Projet Génome Humain⁹⁶. Les données amassées ainsi que

⁹⁴ Cette technique permet de produire plusieurs copies d'un fragment d'ADN à l'extérieur de l'organisme (Rose, 2001).

⁹⁵ En inventoriant les gènes et leurs fonctions, la génomique a également été nécessaire à son développement. Les premiers séquençages de génomes ont été réalisés manuellement à partir des années 1970. Puis, grâce aux développements en informatique et en microélectronique, le séquençage a pu se faire de manière automatique et considérablement plus rapide. Ces connaissances ont d'ailleurs rendu possible l'essor de la biologie des systèmes, discipline dont le développement s'est fait parallèlement à la biologie de synthèse. Voir Bensaude-Vincent et Benoît-Browaëys (2011).

⁹⁶ Le Projet Génome Humain, dirigé par le National Institute of Health (NIH), fut une vaste entreprise rassemblant, à l'international, plusieurs scientifiques et laboratoires. Son objectif ambitieux était le séquençage de l'entièreté du génome humain. Plusieurs commentateurs affirmaient que cela allait permettre d'identifier les déterminants génétiques d'une foule de pathologies et, par conséquent, de révolutionner le domaine médical (Fox Keller, 2017). Il est intéressant que Craig Venter, une figure majeure de la biologie de synthèse, a joué un rôle clé dans le séquençage du génome humain. Il a annoncé que sa compagnie Celera

les outils développés apparaissaient ouvrir la porte à une série illimitée d'innovations, surtout dans le domaine médical et pharmaceutique⁹⁷. Également, durant la même période aux États-Unis, les institutions gouvernementales et les industriels (surtout dans le secteur énergétique) ont cherché de nouveaux secteurs de développement économique qui constituaient des « alternatives aux énergies fossiles » (Aguiton, 2018 : 29). D'importants investissements, notamment du Department of Energy (DoE) et de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), ont été faits dans l'ensemble du domaine biotechnologique. Ces deux institutions ont financé des scientifiques comme Tom Knight, George Church et Craig Venter (qui allaient tous devenir centraux à la biologie de synthèse)⁹⁸. De plus, le *U.S. Energy Policy Act* de 2005 a permis d'augmenter considérablement les financements dans les biotechnologies. Plus que tout autre, la perspective d'élaborer des biocarburants y était recherchée (Aguiton, 2018 ; Cooper, 2008). L'« *Energy Policy Act* de 2005 représente une tentative tardive du gouvernement américain de faire face à la limite ultime de la croissance – l'épuisement du pétrole » (Cooper, 2008 : 48 [ma traduction]). Plus qu'une prise en compte des impacts écologiques du pétrole, l'objectif recherché était la poursuite de la croissance économique nationale⁹⁹. Les financements d'organismes fédéraux étaient en accord avec la logique industrielle ; « Il ne s'agit pas pour l'administration de s'approprier les recherches, mais plutôt de les soutenir en amont et d'inciter à ce que les industriels s'en emparent » (Aguiton, 2018 : 29). À partir de cette époque, plusieurs compagnies pétrolières telles que British Petroleum, Shell et Chevron ont établi des partenariats avec des universités américaines (Aguiton, 2018 ; Bensaude-Vincent et Benoit-Browaeys, 2011). Ce type de partenariats a été crucial pour le développement des premiers projets de la biologie de synthèse – avant même que le

Genomics allait arriver au séquençage complet avant l'équipe internationale et qu'elle allait breveter les gènes séquencés. Celera Genomics s'est toutefois joint au NIH pour annoncer le séquençage complet du génome humain en 2000 (Stevens et Newman, 2019).

⁹⁷ Le séquençage du génome humain fut présenté, dans les discours médiatiques et scientifiques de l'époque, comme une véritable révolution pour l'ensemble de l'humanité (voir : Zwart, 2018 ; Nerlich et Hellsten, 2004 ; Turney, 2005).

⁹⁸ Les BioBricks furent d'ailleurs proposées pour une première fois au sein du projet *Computing with Synthetic Biology*, financé et organisé par la DARPA en 2002 (Aguiton, 2018).

⁹⁹ Une série d'enjeux économiques justifiait l'intérêt pour les biocarburants aux États-Unis : « the rising costs of defending its dependence on Middle Eastern oil supplies; the growing competitive pressures from India and China, as they too become major consumers of world oil; and finally, both the relative failure of GM food production and the diplomatic costs of sustaining export subsidies to the U.S. farming industry » (Cooper, 2008 : 48).

domaine ne se soit réellement institutionnalisé. Comme le note Aguiton, les organismes fédéraux et les industriels ont alors investi dans des « promesses financièrement risquées, alors loin des applications concrètes » (Aguiton, 2018 : 26).

Malgré sa consolidation en tant que domaine autonome aux débuts des années 2000, la biologie de synthèse est toujours étroitement liée au reste du secteur des biotechnologies – au point d’en être parfois difficilement distinguable. La limite est souvent floue entre les projets qui relèvent de la biologie de synthèse et des autres domaines biotechnologiques. Elle fait usage de plusieurs outils et techniques provenant du génie génétique. « Les capacités de manipulation précise du matériel génétique, grâce aux techniques d’édition génétique, sont implicites dans le vocabulaire de la synthèse et dans les images évoquées par la biologie de synthèse »¹⁰⁰ (Kearnes, Kuch et Johnston, 2018 : 2 [ma traduction]). À ce sujet, le « ciseau génétique » CRISPR-Cas9¹⁰¹ montre bien comment la biologie de synthèse dépend des développements dans le reste des biotechnologies. Outil par excellence du génie génétique, il doit dynamiser et faciliter les projets de la biologie de synthèse (Kearnes, Kuch et Johnston, 2018).

Devant ce flou définitionnel, on peut dire que la « biologie de synthèse » est en fait un terme-parapluie dont la dimension performative permet « la mobilisation de ressources, tout en servant également à relier un contenu scientifique à des promesses d’applications » (Benjamin, Cointet et Joly, 2016 : 1 [ma traduction]). Il apparaît que cette tendance est symptomatique de la logique de *hype* qui alimente la biologie de synthèse. Le *hype* est une projection dans le futur où sont vantés de manière exagérée les bénéfices potentiels du domaine. Il se crée autour des promesses ainsi que des investissements, de l’attention du public, de la présence médiatique, etc. qu’elles reçoivent (Caufield et Condit, 2012 ;

¹⁰⁰ « Implicit in the vocabulary of synthesis and the imagery evoked by synthetic biology are capabilities for precise manipulation of genetic material, through the techniques of gene editing » (Kearnes, Kuch et Johnston, 2018 : 2).

¹⁰¹ Découvert en 2012, cet outil permet de « couper » une séquence d’ADN et d’en insérer une autre. Il est plus précis, plus rapide et moins coûteux que les précédentes techniques d’édition génétique. Il est décrit comme une « révolution » pour la modification génétique. Pour une perspective sociohistorique sur CRISPR-Cas9, voir « Thinking the unthinkable: how did human germline genome editing become ethically acceptable? » (Martin et Turkmendag, 2021). Pour une analyse de ses représentations voir « How to do things with metaphors : engineering life as hodgepodge » (Kearnes, Kuch et Johnston, 2018) et « CRISPR as agent: a metaphor that rhetorically inhibits the prospects for responsible research » (Ceccarelli, 2018).

Hammang, 2023). Ainsi posée, il apparaît que la biologie de synthèse ne se distingue pas fondamentalement du reste des biotechnologies. Il semble plus approprié de dire que ce domaine promet d'étendre et de radicaliser le projet de faire l'ingénierie du vivant (Balmer, Bulpin et Molyneux-Hodgson, 2016 ; Lafontaine, 2021 ; O'Malley et al., 2007 ; Morange, 2012) :

proponents of synthetic biology promise to succeed where previous molecular biology and genetic engineering projects have failed. These bioengineering disciplines are understood to have failed in realising their promise of « translating » research into industrial applications. (Balmer, Bulpin et Molyneux-Hodgson, 2016 : 161)

Dans les mots de Lafontaine, cela constitue « une étape de plus dans la déconstruction bioéconomique du vivant en pièces détachées » (Lafontaine, 2021 : 287). Pour le démontrer, il est pertinent de revenir sur deux caractéristiques de la biologie de synthèse qui montrent qu'elle radicalise le projet de manipuler et de mettre en ressource le vivant. Par le fait même, je ferai ressortir qu'elle s'appuie et étend les représentations machiniques et informationnelles héritées de la biologie moléculaire et du génie génétique.

3.1. Radicalisation de l'ingénierie du vivant

3.1.1. Design rationnel

Les représentations machiniques et informationnelles qui viennent d'être mises en lumière se retrouvent au cœur de la biologie de synthèse. « L'organisme conçu comme un assemblage de dispositifs moléculaires semble dépourvu d'unité et de finalité intrinsèque. Regardé comme une machine programmée, le vivant est programmable à volonté » (Bensaude-Vincent et Benoît-Browaëys, 2011 : 105). Plutôt que de modifier une séquence génétique au sein d'un organisme, la biologie de synthèse annonce « fabriquer » des formes de vie inédites. Ce projet nécessite une mise en œuvre technique exigeante qui entraîne deux postures particulières (Heams, 2015 ; Pireyre, 2016). D'abord, la rationalisation de l'ingénierie se traduit par l'adoption d'une logique de design. Globalement, elle doit permettre aux biologistes de synthèse de simplifier des systèmes biologiques complexes via des modélisations (blueprint) afin de les fabriquer dans un deuxième temps (Bensaude-Vincent et Benoît-Browaëys, 2011 ; Morange, 2009). Dans son mémoire de maîtrise, Guillaume Pelletier explique que cela implique « une vision de l'objet technique comme

étant informé par la science et par la raison, celle-ci concevant intentionnellement un plan dont l'objet technique serait ensuite l'incarnation physique » (Pelletier, 2018 : 78). Dans cet ordre d'idées, les produits de la biologie de synthèse seraient la matérialisation technique d'un projet rationnel pensé par un scientifique (Pelletier, 2018). Il est intéressant de noter qu'Endy et Knight avaient proposé le nom « biologie intentionnelle » pour nommer leur nouveau domaine. Bien qu'elle n'ait pas été retenue¹⁰², cette appellation montre l'étendue de la logique de contrôle appliquée au vivant (Bensaude-Vincent et Benoît-Browaëys, 2011). Celui-ci est vu comme une entité malléable entièrement soumise et constructible par une intention humaine.

Il faut souligner que le design se fait de manière digitale en biologie de synthèse. Alors, les composants biologiques (surtout des séquences d'ADN) avec lesquels les chercheurs travaillent détiennent une existence virtuelle détachée de toute réalité matérielle concrète. En outre, lors du design, la manipulation et l'assemblage de composants biologiques sont aussi entièrement virtuels. Cela est permis par les procédures computationnelles utilisées lors de cette étape. Grâce à leur langage informatique, elles semblent aptes à générer virtuellement n'importe quelles formes de vie qui pourraient ensuite être matérialisées. Cela a même amené Craig Venter, en 2010, à affirmer avoir fabriqué « la première cellule dont le parent est un ordinateur ». Cette formule choc, si elle masque le travail complexe des chercheurs ayant réalisé cette innovation, est toutefois révélatrice de la représentation informationnelle du vivant. Dans les mots du biologiste de synthèse français Philippe Marlière, « la biologie moléculaire nous avait conduit du matériel au logiciel ; la biologie synthétique va nous reconduire du logiciel au matériel, grâce aux algorithmes » (Marlière, 2010, cité dans Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 : 32). En apparaissant pouvoir passer d'une existence informationnelle à une existence matérielle (et vice-versa), le vivant semble totalement programmable (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Müller, 2016).

¹⁰² Elle fut rejetée puisqu'elle sous-entendait que les projets du reste des sciences du vivant n'avaient jusqu'alors jamais été intentionnels (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011).

3.1.2. Standardisation

Le deuxième élément qui permet de caractériser la biologie de synthèse est l'adoption de la standardisation. Elle implique qu'il faut travailler avec des composants biologiques maîtrisables et uniformisés¹⁰³ : des séquences d'ADN, des circuits génétiques ou des voies métaboliques accomplissant une fonction déterminée (Pelletier, 2018). Il faut ici souligner que l'ADN est l'élément de base constituant ces « briques biologiques ». Les gènes sont conçus comme les « briques élémentaires » du vivant qui permettent sa construction. Le réductionnisme génétique, malgré sa contestation dans plusieurs disciplines de la biologie¹⁰⁴, est toujours omniprésent en biologie de synthèse (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Lafontaine, 2021). La prégnance du principe de standardisation traduit également la volonté de fabriquer en masse des produits dont la fonction est déterminée d'avance. Pour insister sur l'utilité de la standardisation d'entités biologiques, Endy va jusqu'à la comparer au système standardisé du boulon et de l'écrou du Sellers Screw Thread Standard. Ce dernier a facilité et stimulé la constitution de nombreuses machines à visée industrielle à partir du XIXe siècle. Selon la vision relayée par Endy, il serait utile et désirable de réduire le vivant à des « briques biologiques » manipulables de manière prévisible (Fox Keller, 2009). Cette idée est fortement liée aux visées industrielles dont les mots d'ordre sont efficacité, rapidité et automatisation. La

¹⁰³ La standardisation doit aussi se faire au niveau des méthodes et du langage employé au sein de la communauté des biologistes de synthèse. Par exemple, le logiciel *Gene Designer* permet aux biologistes de synthèse de modéliser des circuits biologiques et d'ensuite commander les BioBricks nécessaires à leur construction (Pelletier, 2018). Autre exemple, le Synthetic Biological Open Language (SBOL) est constitué de signes représentant divers éléments d'un système biologique (promoteurs, terminateurs, portion codante, etc.) (Pelletier, 2018).

¹⁰⁴ Comme l'a montré l'historienne des sciences Evelyn Fox Keller, le concept même de gène en tant que déterminant de l'organisme a été remis en question à la fin du XXe siècle. Les avancées en génomique, notamment au sein du Projet Génome Humain, ont mis de l'avant la complexité des phénomènes biologiques. En fait, elles ont donné lieu à ce qui est souvent appelé un « déluge d'informations ». Par exemple, la découverte d'une immense quantité de « région non codantes » a été mise au jour avec le PGH. Contrairement à ce que les biologistes croyaient, une importante partie du génome était composé de gènes qui ne semblaient pas avoir de fonctions au sein de l'organisme. Dès cette époque, les gènes, acteurs de premier plan depuis le milieu du XXe siècle, n'étaient plus à même d'expliquer l'ensemble du vivant (Fox Keller, 2003). Le champ de la biologie alors a su ouvrir ses horizons à des sous-disciplines nouvelles ou laissées de côté pendant « le siècle du gène » (biologie développementale, épigénétique, biologie des systèmes, etc.). Malgré tout, dû à leur ancrage profond dans l'imaginaire collectif, les métaphores du « code » ou du « programme » pour représenter les gènes continuent d'être largement utilisées (Hellsten et Nerlich, 2004 ; Turney, 2005). À ce sujet, voir *Le siècle du gène* (Fox Keller, 2003).

standardisation permet à la biologie de synthèse de répondre aux conditions de production industrielle¹⁰⁵. Mackenzie et ses collègues l'expliquent ainsi :

Standards development is firmly aligned with aspirations about the utility, scaling up, and industrialization of synthetic biology. Progress in engineering biology is actively held back by the lack of common, standardized tools and technologies [...] Framed this way, standardization became an imperative, necessary to prevent ongoing wastage of biological potential. (Mackenzie et al., 2013 : 710)

Finalement, avec la standardisation, un réductionnisme méthodologique est assumé par la plupart des biologistes de synthèse¹⁰⁶. Pour eux, il serait plus efficace d'élaborer des systèmes biologiques en assemblant des composants biologiques stables et simples. Dans cette optique, tout ce qui n'est pas strictement fonctionnel et nécessaire à la survie d'un système biologique doit être évacué (Calvert, 2010). Cependant, cette tendance ne détient pas uniquement une visée méthodologique. Calvert soutient que « l'idée omniprésente de la simplicité de la nature, et sa connexion à la vérité »¹⁰⁷ (Calvert, 2010 : 98 [ma traduction]) persiste en biologie de synthèse. Elle se traduit par une tendance à affirmer que la complexité des systèmes biologiques ne serait qu'un fruit accidentel de l'évolution. Dans cette ligne de pensée, les organismes auraient accumulé une multitude de « détritux » non nécessaires à leur fonctionnement et leur structure. En évacuant ces « détritux », les biologistes de synthèse devraient pouvoir isoler, manipuler et réassembler à volonté les parties d'un système biologique (Calvert, 2010).

¹⁰⁵ Des chercheurs du *Centre for Synthetic Biology* de l'Université de Ghent ont fait paraître en 2017 un article revendiquant de meilleurs efforts pour le développement de standards. Un article de ce type illustre clairement les liens entre la standardisation et la production industrielle : « Synthetic biology parts that perform predictably and robustly under a wide array of environmental and genetic conditions are crucial for the success of synthetic and industrial biotechnology, e.g. during scaling-up from perfectly controlled environments encountered on the laboratory scale to the often harsh and fickle conditions encountered at industrial scale » (Decoene et al., 2017 : 650).

¹⁰⁶ Un principe important de la biologie de synthèse illustre ce réductionnisme méthodologique. Il s'agit des « hiérarchies d'abstraction », mises de l'avant par Endy. Elles impliquent que l'ADN constitue l'élément de base avec lesquels les chercheurs travaillent. Il doit ensuite servir à assembler des pièces (*parts*). À partir de celles-ci, il est possible d'assembler des dispositifs (*devices*) qui servent eux-mêmes à élaborer des circuits puis, finalement, des systèmes. Ces hiérarchies, en séparant plusieurs niveaux d'abstraction, servent à diviser et simplifier le travail des chercheurs (Dan-Cohen, 2016).

¹⁰⁷ « the pervasive idea of the simplicity of nature, and its connection to truth » (Calvert, 2010 : 98).

3.2. La logique industrielle de la biologie de synthèse

Une remarque est nécessaire quant à la mise de l'avant de la logique du libre-accès (*open-source*) prônée par certains promoteurs de la biologie de synthèse. Elle est axée sur « la circulation, l'échange et la mutualisation des données » (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 : 100). Alors, comme l'ont remarqué plusieurs auteurs des sciences sociales, la biologie de synthèse ne s'insère pas parfaitement dans le régime de propriété de la bioéconomie (Aguiton, 2018 ; Bensaude-Vincent, 2013 ; Bensaude-Vincent et Benoit-Browaëys, 2011 ; Frow et Clavert, 2013 ; Hilgartner, 2015 ; Roosth, 2017). La présence du libre-accès divise certains acteurs du domaine. En effet, quelques chercheurs sont parfois réfractaires à l'idée d'une prévalence des intérêts industriels sur leurs recherches. Plutôt que de rechercher à breveter rapidement leurs innovations, certains préconisent le libre-accès¹⁰⁸ (Aguiton, 2018 ; Roosth, 2017). Cette idée est au cœur de l'utilisation des BioBricks. Un cadre légal, le BioBrick Public Agreement (BPA), a été élaboré pour définir ces « briques biologiques » comme étant non brevetables. Ces « blocs de construction » standardisés sont développés et mis en ligne par des contributeurs qui renoncent à tout droit de propriété. D'autres chercheurs peuvent ensuite les utiliser librement et, possiblement, contribuer à leur tour au registre. Le registre forme un outil précieux qui a participé au développement d'une partie de la communauté de la biologie de synthèse¹⁰⁹ (Calvert et Marris, 2020 ; Smolke, 2009).

¹⁰⁸ L'idéal de *l'open-source* se retrouve au cœur de l'iGEM. Parfois mise en parallèle à un « jeu », la compétition présente une image dynamique, créative et démocratique de la biologie de synthèse. Cette représentation du domaine est aussi visible dans des phénomènes comme le DIYbio (ou « biologie de garage ») où des acteurs profanes adoptent certains procédés et composants standardisés de la biologie de synthèse pour mener leurs propres expérimentations hors laboratoire (Hellsten et Nerlich, 2011). Pour une critique de l'emploi de la notion de « jeu » pour décrire la biologie de synthèse, voir Litterst (2016) : « synthetic biology in general is no area of purposeless play but of responsibility. In synthetic biology “playing games” is primarily a label that may serve the economization in the sciences. It is therefore connected to an inadequate public exhibition of the research of synthetic biology. Thus the orientation towards academic and financial profit may be lost out of sight » (Litterst, 2016 : 249).

¹⁰⁹ Les promoteurs de *l'open-source* évoquent souvent l'imaginaire de l'informatique. En 2000, dans une lettre destinée à la DARPA, Rob Carlson et Rogert Brent ont fait ce parallèle (Frow, 2020). Les deux biologistes de synthèse requéraient du financement pour leur projet d'« Open Source Biology ». « Open-source biology will aid in maintaining a technological edge through diversified research. Like other distributed systems, biological research and biological engineering efforts conducted in an open source manner will be robust and adaptive, providing for a more secure economy and country » (Brent et Carlson, 2000 : 2).

Certains chercheurs se réfèrent également à la figure des *hackers* de la Silicon Valley à qui on doit le développement du microprocesseur dans les années 1970. Notamment, Knight et Endy, deux biologistes de synthèse très influents, ont fait cette comparaison (Frow, 2020 ; Hilgartner, 2015). Ils soutiennent que l'«

En réalité, la logique du libre-accès n'est pas réellement affranchie de l'imaginaire bioéconomique qui prévaut dans le domaine des biotechnologies (Esquivel Sada, 2017). Si les BioBricks sont libres de droits, les systèmes biologiques élaborés à partir de ces « briques » sont quant à eux brevetables. En effet, un biologiste de synthèse peut les utiliser puis commercialiser le produit qu'il a mis au point. Le BPA n'exige aucunement de lui qu'il participe à son tour au registre¹¹⁰ (Aguiton, 2018 ; Hilgartner, 2015). « La BioBrick devient un outil pour créer des nouveautés privatisables sur lesquelles l'Utilisateur détient tous les droits de gestion ; les décisions à propos d'une création [...] sont entièrement sous le contrôle de l'Utilisateur »¹¹¹ (Hilgartner, 2012 : 201 [ma traduction]). Plutôt qu'une véritable démocratisation du domaine, le libre-accès doit permettre d'accélérer l'innovation. Comme l'a développé Hilgartner, l'imaginaire de l'open-source¹¹² met de l'avant la liberté individuelle et la réduction du contrôle étatique (Hilgartner, 2015). Il s'inscrit dans la logique du marché néolibéral. Bensaude-Vincent l'explique en analysant le discours de Carlson, fervent défenseur du libre-accès :

Far from trying to step away from market economy Carlson advocates an open, free, deregulated market. He is convinced that the market push will drive the future of synthetic biology. [...] The assumption underlying Carlson's vision and the Biobricks project is that easiness and openness will enlarge the number of users and consequently bring added value to synthetic biology. (Bensaude-Vincent, 2013 : 127-128)

Par le dynamisme qu'elle promet, la logique du libre-accès annonce un futur prolifique en termes d'innovations et de profits (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaey, 2011 ; Frow, 2013 ; Roosth, 2017). Loin de remettre en cause la logique d'appropriation axée vers le brevetage, « la circulation, l'échange et la mutualisation des données » (Bensaude-Vincent et Benoit-Browaey, 2011 : 100) s'accordent à une « bioéconomie dérégulée », à l'image des marchés néolibéraux (Bensaude-Vincent, 2013 : 128). Le vivant, décomposé en

l'innovation émerge des activités collectives de créateurs répartis géographiquement et organisationnellement - une situation qui rend extrêmement souhaitable le partage libre d'outils et d'informations » (Hilgartner, 2015 : 43 [ma traduction]).

¹¹⁰ « Bien sûr, les utilisateurs sont encouragés à contribuer à la [BioBricks Foundation] avec leurs créations, mais ils ne sont pas formellement tenus de le faire » (Hilgartner, 2012 : 201 [ma traduction]).

¹¹¹ « the [BioBrick] becomes a tool for creating new proprietary novelties over which the User has full managerial rights; decisions about the disposition of a new creation [...] are fully under the User's control » (Hilgartner, 2012 : 201).

¹¹² Hilgartner utilise l'expression « imaginary of openness » (Hilgartner, 2015 : 43).

« pièces » biologiques standardisées et informatisées, doit y circuler fluidement pour maximiser l'innovation technoscientifique et les profits qui peuvent en découler.

Enfin, il faut aussi souligner que le libre-accès est loin d'être prôné par l'ensemble de la communauté des biologistes de synthèse. Malgré sa mise de l'avant dans plusieurs discours médiatiques, « la proximité des principaux¹¹³ biologistes de synthèse avec des activités commerciales est presque systématique, suggérant que les relations entre le milieu académique et l'industrie sont particulièrement structurantes »¹¹⁴ (Raimbault, Cointet et Joly, 2016 : 15 [ma traduction]). Dans cet ordre d'idées, Aguiton montre la prégnance de la figure du « scientifique-entrepreneur¹¹⁵ » dont l'objectif est de produire des innovations brevetables ou commercialisables. Elle prend comme exemple une figure phare du domaine, Jay Keasling, mentionné dans le précédent chapitre. Il incarne éloquemment les liens complexes entre les institutions publiques et les entreprises privées. Il cumule différents titres : Président Directeur Général de l'institution publique Joint Bioenergy Institute, fondateur de la start-up Amyris Inc., professeur à l'Université de Californie et directeur associé au Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) (Aguiton, 2018). Comme le rappelle Aguiton, cet enchevêtrement exemplifie la logique industrielle qui traverse le domaine¹¹⁶.

¹¹³ Pour identifier ces principaux chercheurs, les auteurs de l'article ont identifié ceux ayant publié le plus grand nombre d'articles. Voir Raimbault, Cointet et Joly (2016).

¹¹⁴ C'est ce que l'étude scientométrique de Raimbault, Cointet et Joly (2016) a confirmé. En identifiant les 29 biologistes de synthèse les plus influents à l'international, elle a mis en relief que : 27 d'entre eux avaient des liens avec le secteur industriel, 27 avaient fait au moins une demande de brevetage, 20 étaient sur le comité scientifique d'une compagnie et 17 avaient créé eux-mêmes une *start-up* (Raimbault, Cointet et Joly, 2016).

¹¹⁵ Jean-Paul Gaudillière explique que cette figure est apparue vers les années 1980 aux États-Unis suite aux « transformations des relations entre sciences, industries et marchés » (Gaudillière, 2015 :100). Elle se situe à la frontière entre la recherche scientifique et le secteur économique. Plus précisément, le scientifique-entrepreneur se retrouve souvent dans une *start-up* financée par un capital-risque ou dans un laboratoire public financé par une entreprise privée (Gaudillière, 2015 ; Aguiton, 2018).

¹¹⁶ Il faut ici préciser qu'en montrant les liens entre les chercheurs et le secteur industriel, le but n'est pas de montrer la relation entre les biologistes de synthèse (en tant qu'individus) et des intérêts économiques. L'objectif est plutôt de mettre de l'avant le fait que les visées industrielles agissent généralement de manière déterminante dans l'ensemble du domaine. Même les « biologistes de synthèse du milieu académique qui privilégient les approches orientées vers les biens communs [*commons*] pour le développement d'infrastructures pourraient être de plus en plus contraints par les bureaux universitaires de licence technologique opérant en vertu du Bayh-Dole Act de 1980 » (Oye et Wellhausen, 2009 :137 [ma traduction]). À titre d'exemple, le biologiste de synthèse Adam Arkin a rapporté avoir breveté une de ses méthodes sous la pression de l'Université Stanford à laquelle il était rattaché. La potentielle valeur commerciale et les licences qui pouvaient en découler justifiaient cette pression. À la différence d'un brevet qui constitue un

3.3. L'économie de la promesse

Malgré les visées industrielles qui prévalent en biologie de synthèse, très peu d'innovations ont été commercialisées. Néanmoins, ses promoteurs annoncent qu'elle constitue une « révolution » pour les sociétés contemporaines (Frow, 2013 ; Frow, 2020 ; Hilgartner, 2015 ; Müller, 2016). Elle est souvent comparée à l'ingénierie microélectronique et informatique :

the main narrative not only covers the position of synthetic biology as a particular type of revolutionary science, but positions it within a historical context of standardization, automation, assembly and control. The metaphors exploit knowledge of past technologies and technological revolutions to familiarize audiences with what is hoped to be a future revolution. (Hellsten et Nerlich, 2011 : 393)

Le sociologue Stephen Hilgartner soutient que ces analogies connectent, au niveau de l'imaginaire, la biologie de synthèse aux transformations socio-économiques amenées par l'informatique et la microélectronique (Hilgartner, 2015). L'affirmation de l'existence de la « courbe de Carlson » dépeint cette logique promissive. Cette courbe est calquée sur la loi de Moore, formulée dans les années 1960 en microélectronique. Celle-ci pose que la puissance de calcul des ordinateurs suit une courbe de développement exponentielle¹¹⁷. Or, loin d'être une loi empirique¹¹⁸, elle est plutôt symptomatique de l'économie de la promesse technoscientifique. Le développement technique et industriel des microprocesseurs est annoncé comme une tendance naturelle impossible à éviter (Joly, 2015). Postulée dans plusieurs roadmaps¹¹⁹, la loi de Moore a servi de moteur à l'industrie

droit de propriété intellectuelle exclusif sur l'invention, la licence est un droit d'utiliser l'objet d'une propriété intellectuelle. La licence résulte souvent d'un accord passé avec de grandes entreprises. Cette stratégie s'inscrit dans la financiarisation des biotechnologies : « cela signifie qu'il y a moins d'incitation à développer des biens et des services (par exemple, des médicaments) puisque les actifs eux-mêmes (par exemple, la propriété intellectuelle) peuvent générer des revenus (par exemple, des rentes de monopoles) et conserver leur valeur en tant que propriété capitalisée » (Birch, 2017 : 474 [ma traduction]).

¹¹⁷ Gordon E. Moore, co-fondateur de la société Intel, s'est basé sur deux prédictions : la réduction constante de la taille des transistors contenus sur les puces de silicium et la réduction des coûts de production (Balmer, Bulpin et Molyneux-Hodgson, 2016). Dans son texte « Loi de Moore : enquête critique sur l'économie d'une promesse », Sacha Loeve montre bien que la « loi » qu'il a formulée n'est pas une loi empirique, ni même un énoncé performatif. C'est plutôt une pure promesse dont la réalisation n'a pu qu'être affirmée rétrospectivement c'est « *la projection dans le futur et dans le passé d'un imaginaire économique* » [l'auteur souligne] (Loeve, 2015 : 109).

¹¹⁸ Le philosophe des sciences Sacha Loeve démontre son caractère hautement spéculatif. Voir Loeve (2015).

¹¹⁹ Un *roadmap* constitue une « feuille de route » qui doit mobiliser les acteurs et les ressources nécessaires à un projet déterminé. Loeve montre que la loi de Moore a été prise comme postulat dans des *roadmaps*

microélectronique (Loeve, 2015). En 2004, le biologiste de synthèse Robert Carlson s'est précisément basé sur cette « loi » pour affirmer le développement exponentiel des innovations de la biologie de synthèse. Cette croissance se fonderait sur la chute des prix et l'augmentation de la puissance des techniques de séquençage et de synthèse d'ADN (Frow, 2020). Appelée la « courbe de Carlson », elle promet le développement inévitable et inflexible de la biologie de synthèse (Flocco et Guyonvarch, 2019 ; Hilgartner, 2015). Sous ce chef, elle représente un narratif attrayant pour les investisseurs (Roosth, 2017). Cette annonce pose la biologie de synthèse comme un moteur économique pour lequel il faut mobiliser des ressources dans le présent. Ce type de projection se retrouve dans plusieurs discours promoteurs : les annonces faites par les entreprises, les prévisions de retombées financières, les roadmaps¹²⁰ gouvernementaux. Ces discours « gouvernent le futur » selon une logique spéculative et techno-optimiste (Calvert et Marris, 2020). À l'image du mécanisme promissaire montré par Joly (soit l'identification d'un problème et la crédibilité que doit mobiliser la solution proposée), le ton d'urgence et la naturalisation du progrès technoscientifique se retrouvent au cœur des promesses de la biologie de synthèse (Calvert et Marris, 2020 ; Joly, 2015 ; Schyfter et Calvert, 2015).

Avant de conclure cette section, il convient ici de se rappeler l'exemple de la compagnie Solazyme évoqué au tout début de ce présent chapitre. Comme il a été mentionné, l'entreprise promettait la production de biocarburants qui répondraient aux défis posés à l'industrie américaine tout en ouvrant un marché de plusieurs milliards de dollars. Vu son potentiel environnemental et économique, elle a été nommée la « Most Promising US Green-Tech Firm » au Forum mondial de l'investissement (organisé par l'ONU) en 2008. En réalité, ses promesses ne se réalisèrent jamais. Vu les coûts élevés de production et la difficulté à compétitionner avec le secteur des énergies fossiles, la

formulés par des industriels et certains gouvernements (notamment américain, japonais et européens) pour le développement de l'industrie des microprocesseurs. Voir Loeve (2015).

¹²⁰ Les sociologues Jane Calvert et Claire Marris ont participé à l'élaboration d'un de ceux-ci : *A Synthetic Biology Roadmap for the UK* (2012). Ce type de « feuille de route » gouvernementale sert à prévoir et mettre en marche le développement de la biologie de synthèse à l'échelle d'une nation. Calvert et Marris expliquent que : « la biologie de synthèse est devenue réifiée en tant que technologie qui va nécessairement délivrer les biens (économiques) promis, en autant qu'elle reçoit le support approprié » (Calvert et Marris, 2020 : 43 [ma traduction]).

compagnie s'est tournée vers l'élaboration de produits de consommation (produits dermatologiques, lubrifiants industriels, produits alimentaires dérivés d'algues, etc.). Elle s'est également tournée vers la production de composés chimiques (à partir de microorganismes modifiés) pour l'industrie du forage pétrolier (Tordjman, 2021). Renommée TerraVia en 2016, l'entreprise a connu de faibles rendements et a déclaré faillite à l'été 2017 (Bomgardner, 2017 ; Mackenzie, 2013). La reconversion de Solazyme illustre une tendance dont Tordjman a constaté la récurrence dans les projets de biocarburants¹²¹. Plusieurs compagnies, vu la difficulté à produire des biocarburants et les retombées économiques limitées, font volte-face. Leurs nouveaux projets sont parfois entièrement tournés vers l'industrie pétrolière : microorganismes modifiés pour liquéfier le pétrole lourd et les sables bitumineux ou encore pour produire des carburants à partir de méthane. Financé par les grandes industries pétrolières, ce type de reconversion témoigne du fait que « la détermination ultime est [...] celle de la performance technique et du rendement financier » (Tordjman, 2021 : 92).

En réalisant ce retour vers la biologie de synthèse, j'ai voulu démontrer qu'elle reconduisait l'imaginaire bioéconomique. Elle hérite des représentations centrales à la bioéconomie, soit la métaphore machinique et informationnelle. Cependant, vu son projet de créer de toutes pièces des formes de vies inédites, elle radicalise ces représentations. J'ai également soulevé que la logique industrielle était déterminante dans le développement de la biologie de synthèse, et ce, malgré la mise de l'avant du « libre-accès ». Finalement, j'ai expliqué qu'elle s'inscrivait dans l'économie de la promesse. En ce sens, la biologie de synthèse annonce à la fois être une « révolution industrielle » et une « révolution verte » qui garantirait le bien-être futur de nos sociétés. Si on replace cette annonce dans le contexte de la bioéconomie, il est possible d'affirmer qu'elle relève d'une double promesse : poursuivre la trajectoire industrielle tout en dépassant ses limites écologiques. La trajectoire industrielle de la biologie de synthèse est analysée dans plusieurs travaux.

¹²¹ Tordjman donne également les exemples de Synthetic Genomics (fondée par Venter), de l'Energy Bioscience Institute (joignant trois universités américaines ainsi que le géant pétrolier British Petroleum), Amyris (fondée par Jay Keasling), LS9 et Calysta (Tordjman, 2021).

Cet aspect a notamment été démontré en abordant le principe de standardisation, le régime de propriété, la « courbe de Carlson » et l'exemple de Solazyme.

En somme, les représentations machiniques et informationnelles du vivant dont hérite l'imaginaire de la biologie de synthèse ont montré la primauté des visées industrielles de ce domaine. Il reste toutefois pertinent de se demander comment ces représentations sont articulées au sein même des promesses écologiques des promoteurs de la biologie de synthèse. Lorsque ce domaine est explicitement présenté comme une solution aux enjeux climatiques, les représentations du vivant mises de l'avant sont-elles les mêmes? Quelles représentations prévalent dans les discours qui font état des promesses écologiques de la biologie de synthèse?

Chapitre III - La démarche méthodologique

1. L'objet de recherche

1.1. Le phénomène social et les discours étudiés

En proposant de régénérer la croissance économique via une exploitation des processus biologiques, la biologie de synthèse est un acteur de premier plan de l'imaginaire de la croissance verte. Elle promet une foule d'innovations qui ambitionnent de révolutionner la production agricole, le secteur énergétique, la production de biens ainsi que le domaine biomédical. Si ses applications sont à ce jour limitées, la biologie de synthèse gagne en importance dans l'imaginaire collectif. De plus en plus, le projet de fabriquer du vivant est présenté comme un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4). En replaçant ce projet dans l'imaginaire bioéconomique, j'ai montré qu'il hérite des métaphores machiniques et informationnelles du vivant. Ainsi, le rapport au vivant est à la fois celui d'un contrôle, mais aussi d'une valorisation de ses capacités néguentropiques. Vu comme un ensemble de ressources malléables et renouvelables, le vivant semble garantir la poursuite de la croissance économique des sociétés industrielles. La biologie de synthèse s'inscrit dans une volonté de réorganiser l'économie autour de l'instrumentalisation des processus biologiques. Cette volonté repose sur une double promesse : régénérer l'économie et dépasser ses limites écologiques. Comme il l'a été problématisé dans le premier chapitre, cette double promesse s'inscrit en porte-à-faux avec le discours ambiant relatif aux changements climatiques. Ce dernier insiste plutôt sur les effets néfastes des activités industrielles sur l'ensemble du vivant et appelle à une transformation radicale des modes de production et de consommation contemporains.

Considérant cette tension, mon objectif est de mettre en lumière l'imaginaire sociotechnique derrière les métaphores du vivant de la biologie de synthèse, et ce, dans le contexte particulier de ses promesses écologiques. À la lumière de l'apport théorique des précédents chapitres, je chercherai à déterminer si ces promesses reconduisent les métaphores machiniques et informationnelles du vivant. Si tel est le cas, de quelles manières ces métaphores sont-elles articulées? Y a-t-il des divergences avec les promesses

proprement économiques qui ont été abordées lors du dernier chapitre? Pour y répondre, il est adéquat de prendre comme matériau des discours qui relaient les promesses écologiques de la biologie de synthèse. À cet effet, j'ai choisi deux types de discours comme terrain d'analyse : des articles médiatiques de vulgarisation scientifique ainsi que des sites Web d'entreprises de biologie de synthèse. Ils offrent des fenêtres privilégiées sur les métaphores du vivant que je désire identifier et analyser. Comme je tenterai de le démontrer dans le reste de ce chapitre, ils véhiculent les métaphores du vivant sous-tendues par l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse.

Dans les pages qui suivent, je devrai délimiter et préciser le terrain d'analyse. Je procéderai donc d'abord à circonscrire mon objet de recherche. J'explicitai ensuite la construction de données sociologiques que j'ai réalisée. Puis, je montrerai pourquoi l'analyse de discours est adéquate pour mettre au jour les métaphores du vivant portées par l'imaginaire de la biologie de synthèse. En dernière instance, il s'agira d'expliquer l'opérationnalisation de l'objet de recherche. Je le mettrai en lien avec le matériau et je proposerai une grille de lecture adéquate à son analyse.

1.2. Définir l'objet de recherche : le rapport au vivant sous l'angle des métaphores

Comme je l'ai expliqué dans le premier chapitre, je m'intéresse à la fonction rhétorique des métaphores. Au sein de la communication, elles jouent un rôle crucial dans la manière dont les avancées technologiques et scientifiques sont imaginées par le public. Pour cette raison, les métaphores du vivant présentes dans les articles de vulgarisation scientifique et dans les sites Web d'entreprises qui traitent des promesses écologiques de la biologie de synthèse constituent mon objet de recherche. Étant destinés au public non-expert, ces discours communiquent certains projets et certaines avancées du domaine. Par le fait même, ils contiennent et diffusent des métaphores du vivant. En stabilisant et en diffusant ces dernières, ils participent à la construction de l'imaginaire sociotechnique. Conséquemment, les métaphores qu'ils contiennent nous informent de l'imaginaire auquel elles se rapportent. Pour cette raison, en réalisant une analyse de discours, je chercherai à les identifier et les analyser. Globalement, l'objectif sera de mettre en lumière si ces métaphores s'articulent à l'imaginaire de la croissance verte ainsi qu'à l'imaginaire de la

bioéconomie. Dans cette visée, il sera utile de voir si, dans le contexte des promesses écologiques de la biologie de synthèse, les métaphores machiniques et informationnelles du vivant sont toujours prévalentes. Si tel est le cas, je devrai montrer de quelles manières elles s'articulent aux promesses écologiques. Bien entendu, une attention particulière sera portée à tout autre type de métaphores qui diffèrent des métaphores machiniques et informationnelles.

Tel que je l'ai posé à la fin du chapitre I, une métaphore implique de « comprendre et faire l'expérience d'une chose dans les termes d'une autre »¹²² (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 5 [ma traduction]). Plus qu'une figure de style linguistique, la métaphore participe à orienter la pensée et l'action. Le travail de Lakoff et Johnson dans *Metaphors We Live By* permet de poser les métaphores en tant que dimension fondamentale au système conceptuel humain. Ce dernier représente l'ensemble des concepts que nous utilisons pour appréhender la réalité. Il permet d'interpréter le monde qui nous entoure et, par conséquent, d'y orienter l'action. La théorie de Lakoff et Johnson s'appuie sur le fait que l'humain doit appréhender des objets hors de son expérience directe ou encore des concepts abstraits. De ce fait, « nous devons les saisir au moyen d'autres concepts que nous comprenons en termes plus clairs (orientations spatiales, objets, etc.). Ce besoin conduit à des définitions métaphoriques dans notre système conceptuel » (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 116 [ma traduction]). Suivant cette idée, une métaphore linguistique appartient à un système métaphorique plus large que Lakoff et Johnson nomment une « métaphore conceptuelle ». Celle-ci forme un tout cohérent et englobe l'ensemble des expressions linguistiques métaphoriques qui s'y rapportent (Lakoff et Johnson, [1980] 2003). Par exemple, les expressions de « code », de « programme » ou en encore de « traitement de l'information » pour parler des processus biologiques se réfèrent toutes à la métaphore conceptuelle du vivant en tant qu'ordinateur. Les métaphores conceptuelles organisent, de manière systématique, les expressions linguistiques métaphoriques. C'est pourquoi l'analyse de ces dernières permet d'identifier et de comprendre les métaphores conceptuelles auxquelles elles renvoient (Lakoff et Johnson, [1980] 2003).

¹²² « understanding and experiencing one kind of thing in terms of another » (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 5).

Si les métaphores conceptuelles sont fondamentales pour comprendre et interpréter le monde qui nous entoure, faut-il rappeler qu'elles ne constituent pas un reflet exact de la réalité. Comme il a été brièvement posé lors du premier chapitre, la compréhension permise par la métaphore est limitée et partielle. Effectivement, puisque la source (l'objet connu) et la cible (l'objet ou le concept qu'on cherche à représenter) sont différentes, certaines propriétés de la cible sont nécessairement masquées ou laissées de côté par la métaphore. Ainsi, en posant un phénomène dans les termes d'un autre, la métaphore empêche de saisir certains aspects du phénomène dont on tente de rendre compte (Garland-Thomson, 2020 ; Kampourakis, 2020). Plutôt qu'un reflet exact, la métaphore induit plutôt une distorsion de la réalité (Ceccarelli, 2018). Dans le cas du vivant, « l'acte de représenter la matière biologique à travers l'acte linguistique de nomination décontextualise une partie d'un tout en la séparant de son environnement via le processus de représentation qui est un système linguistique »¹²³ (Garland-Thomson, 2020 : 37 [ma traduction]). Dès lors, les métaphores mettent de l'avant certaines propriétés du vivant et en masquent d'autres. De ce fait, en s'intéressant aux métaphores du vivant, mon objectif n'est pas de chercher une définition objective et neutre du vivant dans les discours étudiés. Selon Lakoff et Johnson, l'analyse des métaphores appelle plutôt à être « intéressé à la manière dont les êtres humains appréhendent le concept – comment ils le comprennent et agissent en fonction de lui »¹²⁴ (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 117). En ce sens, les métaphores retrouvées dans les discours étudiés sont des fenêtres intéressantes sur le rapport au vivant qu'elles sous-tendent. Elles mettent en lumière les façons dont il est perçu, imaginé et valorisé dans l'imaginaire de la biologie de synthèse.

2. La construction des données sociologiques

Si les métaphores sont des outils permettant aux individus d'interpréter la réalité, alors leur analyse implique la « compréhension de la compréhension » (Schmitt, 2005 : 284). Ni « vraie » ou « fausse », la métaphore est plutôt un « savoir de sens commun »

¹²³ « The act of representing biological matter through the linguistic act of naming decontextualizes a part of a whole by selecting it out from its surroundings through the process of representation that is a language system » (Garland-Thomson, 2020 : 37).

¹²⁴ « concerned with how human beings get a handle on the concept—how they understand it and function in terms of it » (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 117).

(Houle, 1987 : 79). Selon la sociologie de la connaissance développée par Gilles Houle, le sens commun est une forme de connaissance qui se forme sur la base de l'expérience pratique des individus (Hamel, 1997). Le défi de la sociologie, selon la formule bourdieusienne, est donc de donner corps à une connaissance (sociologique) à partir d'un objet qui est lui-même une connaissance (la métaphore) (Hamel, 2006 ; Hamel, 2021 ; Schmitt, 2005). Cette tâche nécessite d'opérer un décentrement par rapport à l'objet étudié. Pour « ne pas confondre les règles de l'explication sociologique avec celles de la connaissance étudiée [...], il faut [...] rendre explicites les règles de l'explication sociologique elle-même » (Houle, 1987 : 79). Il faut réaliser, dans les mots du sociologue Paul Sabourin, une « objectivation méthodologique » (Sabourin, 2003 : 437) en exposant de manière détaillée les procédures et les opérations de la méthode d'analyse. Je réaliserai cette tâche dans les sections qui suivent. J'expliciterai d'abord les procédures et les opérations par lesquelles l'objet a été construit. Il s'agira de décrire les propriétés des matériaux et de démontrer leur pertinence pour la construction de l'objet d'analyse. Par la suite, je présenterai la position interprétative en détaillant la méthode d'analyse de discours employée. Je montrerai ensuite le découpage des données auquel j'ai procédé. En somme, cela permettra de démontrer la pertinence de la méthode en regard de l'explication sociologique que je cherche à formuler.

2.1. Identification et description du matériau d'analyse

2.1.1. Le discours de vulgarisation scientifique

Les matériaux discursifs analysés se déclinent en deux catégories : le contenu écrit d'articles de vulgarisation scientifique issus de la sphère médiatique ainsi que le contenu publicitaire écrit retrouvé sur des sites Web d'entreprises de biologie de synthèse. Premièrement, j'ai choisi comme premier matériau les discours de vulgarisation scientifique, présents dans les médias de masse, qui font état d'avancées ou d'enjeux relatifs à la biologie de synthèse. Ils se distinguent ainsi des discours retrouvés dans des revues spécialisées et destinées à un public savant¹²⁵. La vulgarisation participe de manière

¹²⁵ Si ces derniers peuvent aussi être soumis à une analyse de discours, la complexité du jargon scientifique nécessiterait une analyse plus sophistiquée et poussée. Je me limiterai donc aux articles de vulgarisation présents dans les médias de masse dans lesquelles les métaphores du vivant se donnent à voir plus aisément.

significative à la diffusion de certaines métaphores. En effet, c'est en grande partie par ce type de discours que le public profane prend connaissance des avancées scientifiques et technologiques (Hellsten, 2002). De ce fait, il participe à forger les métaphores partagées au sein d'une collectivité. Daniel Jacobi précise que la vulgarisation, plutôt que d'être séparée du champ scientifique (et des discours experts), se situe sur le même continuum. Il constate plusieurs formes hybrides de discours (vulgarisés et scientifiques) ainsi qu'une importante perméabilité entre leurs frontières¹²⁶ (Jacobi, 1985). En effet, « les scripteurs, leurs textes et leurs diverses intentions se mêlent intimement » (Jacobi, 1985 : 7). Dans un contexte de recherche compétitif, la vulgarisation sert à asseoir certains travaux, résultats ou innovations dans le champ scientifique. Dès lors, elle « peut se replacer dans l'ensemble des discours scientifiques (dont elle dépend et dérive quand [elle] n'en est pas une variante) » (Jacobi, 1985 : 8). Alors, plutôt que d'être isolée des discours experts de la biologie de synthèse, la vulgarisation s'y inscrit en continuité (Jacobi, 1985). Pour cette raison, elle représente une fenêtre intéressante sur les métaphores du vivant que les promoteurs du domaine diffusent au sein du public profane.

Dans l'objectif d'élaborer un portrait global des métaphores, je prendrai des articles de vulgarisation qui se situent dans trois types de médias : généralistes, scientifiques et économiques. Je choisirai d'abord des discours de vulgarisation qui se trouvent dans la presse généraliste. Prenant une importance considérable dans les sociétés contemporaines, les actualités technologiques et scientifiques détiennent une place significative dans ce type de médias. Ensuite, je prendrai également comme matériau des articles au sein de magazines scientifiques. Il faut préciser que ceux-ci sont spécialisés dans la vulgarisation scientifique et s'adressent à l'ensemble du public (et non à un public savant). Malgré cela, ils offrent généralement des articles plus longs et détaillés sur l'actualité scientifique et technologique que les deux autres types de médias sélectionnés. Finalement, j'analyserai également des discours de vulgarisation scientifique contenus dans des journaux d'information économique. Comme détaillé précédemment, la dimension économique est déterminante dans le développement de la biologie de synthèse. Dès lors, les médias d'actualités économiques abordent les innovations du domaine.

¹²⁶ Pour plus de détails à ce sujet, voir « Sémiotique du discours de vulgarisation scientifique » (Jacobi, 1985).

2.1.2. Le discours publicitaire

Pour le deuxième type de matériau, j'ai sélectionné des discours présents sur des sites Web d'entreprises de la biologie de synthèse. Comme je l'ai montré dans les précédents chapitres, la sphère économique tient un rôle primordial dans les développements du domaine. De ce fait, il est adéquat de faire l'analyse de discours d'entreprises qui participent activement aux développements et à la promotion de la biologie de synthèse. Comme l'a montré la sociologue Valérie Sacriste, le discours publicitaire est porteur de représentations qu'il récupère et renforce. Puisqu'elle détient une visée commerciale et qu'elle cherche à plaire à un large public, la publicité « reflète la réalité sociale, une réalité qui n'est pas un diagnostic objectif, mais une typification de ce que les individus pensent et comment ils se représentent le monde » (Sacriste, 2001 : 493). Par conséquent, les métaphores contenues dans les discours publicitaires sont « mises en scène » ou « théâtralisées », c'est-à-dire qu'elles « sont d'une part typifié[e]s, d'autre part surdimensionné[e]s, mais en plus validé[e]s »¹²⁷ (Sacriste, 2001 : 495 ; Sacriste, 2018). En ce sens, les discours publicitaires d'entreprises sont un matériau pertinent pour ma recherche puisqu'ils donnent à voir plus aisément les métaphores du vivant dominantes au sein des promoteurs de la biologie de synthèse.

J'analyserai le contenu écrit se trouvant sur les sites Web d'entreprises. En plus d'être faciles d'accès, ces derniers constituent l'une des principales plateformes par lesquelles les entreprises diffusent leurs discours à un vaste public. Pour choisir quelles entreprises soumettre à l'analyse, j'identifierai les quatre entreprises qui sont les plus mentionnées dans les articles de vulgarisation scientifique. Leur présence dans la sphère médiatique témoigne de leur visibilité ainsi que, conséquemment, leur importance dans la constitution de l'imaginaire de la biologie de synthèse. Je décrirai, ci-bas, de manière empirique, les propriétés de l'ensemble des matériaux retenus.

¹²⁷ Pour cette raison, selon Sacriste, ces représentations constituent des archétypes et des stéréotypes (Sacriste, 2001).

2.1.3. Délimitation géopolitique

Comme je l'ai indiqué dans le premier chapitre, la « stabilisation » de la biologie de synthèse s'est amorcée vers 2010. Ce processus correspond à la formation d'une communauté délimitée de chercheurs qui détient un agenda de recherche partagé (Raimbault, Cointet et Joly, 2016). C'est pour cette raison que je retiendrai des discours ayant été émis de 2010 à nos jours (2023). Également, j'ai choisi de limiter l'analyse à des articles de presse francophones. Outre le fait de rendre plus aisée l'analyse des métaphores, ce choix permettra également d'explorer un corpus moins étudié. En effet, lors de la revue de la littérature, j'ai constaté que la majorité des analyses de discours relatives à la biologie de synthèse concernait des discours anglophones. Pour la constitution d'un corpus francophone, j'ai donc sélectionné des médias français et québécois. Le choix de la France et du Canada (Québec) permet d'avoir une vue d'ensemble sur l'imaginaire de la biologie de synthèse puisqu'il offre des matériaux provenant d'un contexte nord-américain ainsi qu'euro-péen. Il est vrai que les précédents chapitres ont fait voir que le développement de la biologie de synthèse est fortement relié au contexte états-unien. Les chercheurs, les laboratoires et les entreprises du domaine sont principalement situés sur son territoire. Or, de plus en plus, on s'intéresse à la biologie de synthèse à l'échelle internationale. Suivant les États-Unis, plusieurs pays européens comme la France ont investi dans ce domaine et ont doté leurs chercheurs des infrastructures nécessaires à son développement (Aguiton, 2018). Au Québec, l'Université Concordia a mis sur pied le premier laboratoire de biologie de synthèse au Canada en 2016 (Centre for Applied Synthetic Biology, s.d.). En plus de ces développements localisés, la biologie de synthèse et l'imaginaire qu'elle sous-tend ont une portée globale. En tant que domaine technoscientifique, son développement et ses impacts ne sont pas limités au cadre national. En effet, les innovations et les transformations socio-économiques qu'elle promet concernent l'ensemble du globe. Autrement dit, quelle que soit la provenance d'un projet de la biologie de synthèse, il est susceptible d'avoir un impact sur l'imaginaire à l'échelle globale. L'analyse d'articles en provenance de la France et du Canada (Québec) permettra donc de brosser un portrait englobant des métaphores du vivant portées par la biologie de synthèse. Pour ce qui est de la sélection des entreprises, elle ne sera pas soumise à une délimitation géographique et

linguistique¹²⁸. En fait, la présence d'entreprises étrangères au sein des articles médiatiques canadiens et français permettra de souligner la portée globale des métaphores identifiées.

2.1.4. Identification des articles médiatiques

Afin de circonscrire le matériau, j'ai sélectionné des articles provenant, pour chaque pays, de trois médias généralistes, de trois médias de vulgarisation scientifique et d'un média d'information économique. Les critères de sélection étaient basés sur l'importance relative, en termes de nombre de lecteurs, des journaux. Ainsi, pour les médias généralistes, j'ai analysé des articles du Monde, du Figaro et du Libération (France) ainsi que du Journal de Montréal, de La Presse et du Devoir (Québec) (Alliance pour les Chiffres de la Presse et des Médias (ACPM), s.d.). Pour les médias de vulgarisation scientifique français, j'ai sélectionné des documents de Sciences et Avenir, La Recherche et de Science et Vie. Cependant, pour le Québec, l'analyse a dû se limiter à un seul média de vulgarisation scientifique. Mis à part le Québec Science, aucun autre n'abordait la biologie de synthèse¹²⁹. Finalement, comme médias d'information économique, j'ai analysé des articles provenant des Affaires (Québec) ainsi que des Echos (France). La base de données en ligne Eureka a fourni l'accès à l'ensemble des journaux sélectionnés. Elle a permis de télécharger les articles parus en format papier ou numérique. J'ai ciblé les articles qui contenaient, dans le texte, une de ces expressions : « biologie de synthèse », « biologie synthétique » ou « synbio »¹³⁰. Puisque l'objectif est d'identifier les métaphores du vivant dans le contexte des promesses écologiques de la biologie de synthèse, j'ai rejeté tout article qui ne faisait pas état de ses potentiels bienfaits écologiques. Dès qu'un document présentait un de ces types de bienfaits (que ce soit en parlant de durabilité environnementale, de produits « verts », d'alternatives aux énergies fossiles, de diminution de la pollution, d'économie de ressources, de décontamination, de capture du CO₂, etc.), l'ensemble de l'article était analysé. Au total, 134 documents ont été retenus pour l'analyse.

¹²⁸ Considérant que toutes les entreprises mentionnées dans les articles médiatiques présentent leur discours publicitaire en français ou en anglais, je n'ai pas eu à limiter l'analyse à des critères linguistiques.

¹²⁹ Les autres principaux médias de vulgarisation scientifique québécois sont destinés aux enfants (*Les Débrouillards*, *Les Explorateurs*) ou abordent des thèmes qui ne traitent pas de l'actualité technoscientifique (*QuébecOiseaux*, *Nature sauvage* (nature au Québec et en Amérique), *Quatre-Temps* (botanique et horticulture)) (Science pour Tous!, 2012).

¹³⁰ « Biologie synthétique » et « synbio » sont des expressions qui ont été retrouvées dans la littérature en sciences sociales. Ce sont des synonymes de « biologie de synthèse ».

Le Devoir (9 articles)

Fondé en 1910 par le politicien et journaliste Henri Bourassa, Le Devoir est un quotidien généraliste indépendant disponible en format papier et numérique. Ce journal basé à Montréal comptait, en date de 2018, 637 000 lecteurs pour sa version imprimée et 674 000 pour sa version numérique (Myles, 2018). Les sujets couverts sont variés : politique, économie, culture, monde, société. C'est dans cette dernière section que se trouve la sous-section « Science ». Elle présente autant des innovations technologiques, des découvertes scientifiques que des enjeux éthiques. Une section entière est dédiée à l'« Environnement » qui présente aussi des articles de vulgarisation scientifique (Le Devoir, s.d.).

La Presse (6 articles)

Fondé en 1884 à Montréal, La Presse est un quotidien québécois qui est entièrement numérique depuis 2018. Se définissant comme un « leader dans le milieu de l'information au Québec » (La Presse, s.d.b), il rejoint un lectorat d'environ 4 millions de personnes par mois et 2,32 millions par semaine (Myles, 2018). Après avoir été possédé par les fonds privés de la Power Corporation, La Presse est désormais un média indépendant avec une structure à but non lucratif. Les sujets abordés sont variés : affaires internationales, affaires, arts, société, sports, etc. Les articles de vulgarisation scientifique se trouvent principalement dans les sous-sections « Sciences » et « Environnement » (qui se trouvent elles-mêmes dans le volet « Actualités ») ainsi que dans la sous-section « Techno » (dans le volet « Affaires ») (La Presse, s.d.a).

Le Journal de Montréal (1 article)

Le Journal de Montréal est le quotidien le plus lu au Québec avec 2 833 000 de lecteurs sur l'ensemble de ses plateformes de diffusion par semaine. En 1964, l'homme d'affaires Pierre Péladeau a fondé le Journal de Montréal ainsi que l'entreprise Québecor qui possède à ce jour le journal. Cette entreprise, actuellement dirigée par Pierre-Karl Péladeau, détient également d'autres entreprises de communication (Vidéotron, Club Illico, Groupe TVA) (Québecor, 2023). Les sujets couverts par le quotidien sont

diversifiés : politique, économie, sports, styles de vie, etc. Les articles de vulgarisation scientifique se trouvent majoritairement dans la sous-section « Techno » (contenue dans la section « Styles de vie ») ainsi qu'« Environnement » (contenue dans la section « Actualités ») (Journal de Montréal, s.d.).

Le Monde (29 articles)

Le Monde, basé à Paris, est le quotidien le plus lu en France avec environ 472 767 exemplaires papier vendus par jour ainsi que 22 millions de lecteurs par mois pour ses plateformes numériques ainsi que son format papier (ACPM, s.d. ; Le Monde, 2021a). Fondé en 1944 par le journaliste Hubert Beuve-Méry, il affiche une « totale indépendance éditoriale » (Le Monde, 2021b ; Le Monde, 2021c). Il est géré par Le Groupe Le Monde, lui-même détenu par plusieurs actionnaires (Le Monde 2021b). Les articles touchent à plusieurs thèmes : politique, économie, culture, santé, éducation, sports, etc. La plupart des articles de vulgarisation scientifique se trouvent sous la rubrique « Sciences » qui se trouve dans la section « Actualités » (Le Monde, s.d.).

Le Figaro (15 articles)

Lui aussi établi à Paris, Le Figaro, fondé en 1826, est le plus ancien journal quotidien de France (Groupe Dassault, s.d.). Le quotidien rejoint environ 351 526 lecteurs par jour via son format papier ainsi que 6,23 millions de personnes mensuellement via son format papier et digital (ACPM, s.d. ; Cohen, 2021). Il est détenu par le groupe industriel Dassault qui possède plusieurs types d'entreprises (aviation, immobilier, logiciel, etc.) (Groupe Dassault, s.d.). Le quotidien traite de sujets tels que : politique, économie, voyages, style, culture, etc. La vulgarisation scientifique se trouve surtout dans les sous-sections « Tech », « Développement durable », « Énergie » et « Environnement » qui se trouvent toutes sous le volet « Économie » (Le Figaro, s.d.).

Libération (6 articles)

Le Libération est un quotidien national fondé en 1973 par, entre autres, le philosophe Jean-Paul Sartre (Maggiore, 2013). Il compte en moyenne 96 551 exemplaires papier vendus par jour (ACPM, s.d.). Il détient également une plateforme accessible en

ligne. C'est un journal indépendant détenant une structure à but non lucratif (Alfon et Olivennes, 2022). La gamme de sujets abordés est très large : « Économie », « Politique », « Lifestyle », « Environnement », « Sciences ». C'est sous ces deux dernières rubriques que se trouvent la plupart des articles de vulgarisation scientifique (Libération, s.d.).

Les Affaires (2 articles)

Actif depuis 1928, le journal bimensuel Les Affaires est « spécialisé dans l'information d'affaires [et] offre des contenus qui nourrissent la réflexion en matière de stratégie d'entreprise, de management, d'entrepreneuriat et de finances personnelles » (Les Affaires, s.d.a). Il est situé à Montréal et appartient au Groupe Contex Inc. À travers ses versions papier et digital, Les Affaires atteint un public de 848 000 lecteurs par mois (Halin, 2019). La plupart des articles relatifs aux actualités scientifiques et technologiques se retrouvent sous la section « Techno » (Les Affaires, s.d.b).

Les Echos (39 articles)

Fondé en 1908, ce quotidien basé à Paris est le journal d'information économique le plus important en France (LVMH, s.d.). Il compte 138 421 exemplaires vendus par jour, se plaçant ainsi devant le journal généraliste Libération en termes de nombre de lecteurs (ACPM, s.d.). Son lectorat total était estimé, en 2015, à 11 millions de personnes par mois (LVMH, s.d.). Il se présente comme « le leader de l'information économique en France » et propose « une vision globale des événements du monde et de l'économie » (Groupe Les Echos – Le Parisien, s.d.). Il appartient au groupe de luxe LVMH qui détient des entreprises variées (vêtements, alcool, cosmétiques, etc.). Dans ce journal, les articles de vulgarisation scientifique sont majoritairement dans la sous-section « Sciences & Prospectives » (appartenant volet « Économie ») et « Énergie – Environnement » (appartenant au volet « Entreprises ») (Les Echos, s.d.).

Québec Science (3 articles)

Établi à Montréal, le magazine Québec Science est le principal magazine de vulgarisation scientifique au Québec. Depuis sa première parution en 1962, il « aborde toutes les questions relatives à la science et à la technologie et pose un regard scientifique

sur les grandes questions d'actualité » (Québec Science, s.d.a). Il paraît huit fois par année en plus d'offrir du contenu via son site Web. Les thèmes présentés sont : « Santé », « Espace », « Société », « Technologie », « Opinion », « Sciences » et « Environnement » (Québec Science, s.d.b).

Sciences et Avenir (11 articles)

Le journal mensuel Sciences et Avenir est axé sur la vulgarisation scientifique grand public. Situé à Paris, il offre son contenu via un format papier ainsi que sur sa plateforme digitale. Il compte 3 900 000 lecteurs, dont environ 201 500 qui achètent sa version papier mensuellement (MediaObs, s.d.a). Il appartient à MediaObs, un groupe de presse et de médias français. C'est une filiale du groupe Claude Perdiel, groupe de presse fondé par l'industriel du même nom (MediaObs, s.d.b). Ce magazine fait état des avancées dans tous les domaines scientifiques grâce à une « vision exhaustive de l'actualité scientifique » (MediaObs, s.d.a). En ce sens, les thèmes couverts sont diversifiés : « Santé », « Espace », « Animaux », « High-tech », etc. (Sciences et Avenir, s.d.).

La Recherche (9 articles).

Appelé Atomes lors de sa fondation en 1947, La Recherche est un magazine de vulgarisation scientifique français trimestriel. Tout comme Sciences et Avenir, il appartient au groupe MediaObs. Disponible via un format papier ou numérique, sa production se chiffre à 45 000 exemplaires (MediaObs, s.d.c). Son objectif est d'aller plus en profondeur dans l'actualité scientifique en offrant « 148 pages dont un grand dossier approfondi de 40 pages, consacré à une problématique des sciences fondamentales, Astronomie, Physique, Biologie, Neurosciences, complété de 6 dossiers étayés de 10 pages consacrés aux autres grands champs de recherche » (MediaObs, s.d.c).

Science & Vie (3 articles)

Science & Vie est un journal de vulgarisation scientifique à parution mensuelle fondé en 1913 et basé à Paris (Science & Vie, 2013b). Ce journal rejoint 4,5 millions de Français par mois, dont 180 000 via son format papier. Reworld Media, un groupe de presse français, détient Science & Vie (Reworld Media Connect, s.d.). Il est décrit comme

« le premier magazine européen de l'actualité scientifique qui s'attache à livrer une explication claire [et] lisible dans les domaines de la science et de la technique » (Reworld Media Connect, s.d.). Il est axé sur la vulgarisation scientifique dans le but de faire « comprendre comment la science peut réenchanter le chemin du progrès » (Reworld Media Connect, s.d.). Les sujets couverts sont regroupés sous les thèmes « Corps et santé », « Espace », « Environnement » et « Innovation », « Cerveau », « Sociétés », « Archéologie » et « Culture » (Science et Vie, s.d.).

2.1.5. Identifications des entreprises

Pour la sélection des quatre entreprises, j'ai codé, avec Atlas.ti, chaque mention d'entreprise dans tous les documents médiatiques analysés. Les multiples mentions d'une même entreprise dans un seul article valaient pour une seule mention. Bien que le corpus d'articles de presse soit francophone, je n'ai pas rejeté les entreprises américaines ou britanniques mentionnées. Comme j'ai pu le constater lors de la lecture des articles de presse français et québécois, la plupart des entreprises mentionnées sont étrangères, soulignant ainsi le fait que leur influence ne se limite pas au cadre national. En fait, leur présence dans des journaux francophones atteste de leur portée globale dans l'imaginaire. J'ai exclu les industriels ou les firmes qui financent des entreprises de la biologie de synthèse (Cargill, Bayer, Tyson Foods, Sanofi) puisque ces compagnies ne mènent pas elles-mêmes des projets de biologie de synthèse. De plus, j'ai exclu les organisations (à visée entrepreneuriale ou non) de biologie de garage (Brico Bio, Amino lab, The Odin). Celles-ci relèvent d'une volonté de rendre accessible le domaine à un public profane ; elles dépassent donc le cadre de mon analyse. En somme, 77 mentions ont été relevées pour 42 entreprises différentes. Les entreprises qui ont été retenues sont : Global Bioenergies, Ginkgo Bioworks, Amyris et Glowee. J'ai analysé le contenu écrit de l'ensemble des pages contenues dans chaque site Web. Cependant, vu son volume trop important, j'ai exclu la section « Nouvelles » de chaque site. Cette section rapporte toutes actualités reliées à une entreprise depuis sa création. Également, j'ai rejeté les rapports financiers et les rapports d'assemblées générales retrouvés sur les sites Web puisque ceux-ci n'appartiennent pas au discours publicitaire. Finalement, pour circonscrire le matériau, je n'ai pas inclus dans

l'analyse les hyperliens vers des sites externes (vers des sites de partenaire ou vers des articles médiatiques).

Global Bioenergies (mentionnée dans 14 articles)

Cette entreprise française a été fondée par les biologistes Philippe Marlière et Marc Delcourt. Marlière a été remplacé en 2020 par Nicolas Cordier, « ancien président-directeur général de Make Up For Ever, filiale du groupe LVMH » (Genopole, 2020) dans le but d'axer l'entreprise vers la commercialisation (Genopole, 2020). En plus de son laboratoire à Évry, Global Bioenergies détient une unité de production industrielle à Pomacle. Sa technologie principale consiste à transformer des ressources végétales en isobutène, une molécule traditionnellement issue du pétrole. Celle-ci est utilisée, entre autres, pour la production de biocarburants et de cosmétiques. Global Bioenergies propose de produire de l'isobutène par fermentation à partir d'une bactérie « reprogrammée ». L'entreprise détient la propriété intellectuelle sur cette « technologie générique » (ainsi que ses versions modifiées) qui peut connaître plusieurs usages industriels (Global Bioenergies, s.d.b). Les impacts économiques seraient potentiellement énormes ; un marché de 20 milliards de dollars est annoncé par Global Bioenergies. Elle a d'ailleurs plusieurs types de partenariat industriels (L'Oréal, Cristal Union) ainsi qu'institutionnels (Agence de la transition écologique, banque Bpifrance, Commission Européenne). De plus, elle participe à plusieurs programmes de R&D Européens qui ont comme objectif global de convertir des déchets (forestiers ou industriels, par exemple) en composés chimiques (notamment de l'isobutène) (Global Bioenergies, s.d.c). En 2011, trois ans seulement après sa création, Global Bioenergies est entrée en bourse. S'affichant comme « acteur de la transition environnementale », Global Bioenergies rapporte que leur « innovation permettra d'économiser 2 tonnes de CO₂ pour chaque tonne d'isobutène produite, comparativement à la filière pétrochimique » (Global Bioenergies, s.d.b). L'unité de production située à Pomacle est opérationnelle et a produit, en 2022, 100 tonnes d'isobutène. L'objectif de l'entreprise est d'augmenter à 2000 tonnes par an d'ici 2025, puis à une dizaine de milliers de tonnes en 2026. Ce n'est qu'à partir de 2026 que l'isobutène entrerait dans la composition de biocarburants (l'isobutène produit d'ici là ne servira qu'à l'industrie cosmétique) (Global Bioenergies, s.d.a).

Ginkgo Bioworks (mentionnée dans 5 articles)

L'entreprise Ginkgo Bioworks a été fondée en 2008 par cinq chercheurs du MIT, soit Jason Kelly, Tom Knight, Reshma Shetty, Barry Canton et Auston Che. À ce jour, l'entreprise se trouve toujours à Boston et Jason Kelly en est le PDG. Elle se spécialise dans l'ingénierie de micro-organismes qui sont achetés par d'autres entreprises du secteur des biotechnologies. C'est une plateforme de « programmation cellulaire » qui comprend plusieurs services : ingénierie d'enzymes, de protéines et de voies métaboliques, optimisation de lignées cellulaires, services de biosécurité, etc. Ces services s'adressent à plusieurs marchés : agricole, industriel, pharmaceutique, alimentaire, chimique (Ginkgo Bioworks, s.d.h). Parfois appelée le « Google de la biologie de synthèse », Ginkgo Bioworks développe plusieurs partenariats avec d'autres entreprises, dont certaines multinationales comme Bayer (Lentschner, 2021). Estimée à 15 milliards de dollars américains lors de son entrée en bourse en 2021, elle constitue une entreprise majeure du secteur des biotechnologies (Cumbers, 2021). Ginkgo Bioworks affiche être axée sur la durabilité (sustainability). En effet, elle annonce aider ses différents partenaires industriels à développer des produits qui émettent moins de pollution. En 2022, l'entreprise a fait paraître un rapport de 54 pages intitulé *Sustainability Report. Caring at Ginkgo* qui fait état des moyens entrepris pour réaliser ses objectifs en matière de durabilité. Comme il met en valeur ses visées et ses engagements écologiques, ce rapport (en plus du reste du site Web) sera soumis à l'analyse de discours (Ginkgo Bioworks, 2022).

Amyris (mentionnée dans 3 articles)

L'entreprise Amyris Inc., qui a été abordée au chapitre II, a été fondée en 2003 par Jay Keasling ainsi que Neil Renninger, Kinkead Reiling, Jack D. Newman, et Vincent Martin. Jusqu'en juin 2023, l'entrepreneur John G. Melo était le PDG de l'entreprise (Amyris, 2023 ; Berkeley IPIRA, s.d.). En 2004, elle a été financée par la fondation Bill & Melinda Gates pour produire de l'acide artémisinique qui est utilisé dans un médicament contre le paludisme. Après le succès de ce projet, Amyris s'est tournée vers le marché des biocarburants et est entrée en bourse en 2010. Vu les difficultés reliées à l'élaboration de biocarburants et la chute du prix du pétrole, l'entreprise s'est plutôt tournée vers la « chimie

propre » (Feldman, 2021). À partir d'un procédé de fermentation, elle produit des composés variés : « des molécules bioidentiques rares, des ingrédients essentiels et des produits quotidiens propres et efficaces »¹³¹ (Amyris, s.d.b [ma traduction]). Actuellement, 13 « ingrédients » développés par l'entreprise ont un usage commercial dont des arômes, des fragrances, du squalène (utilisé dans les cosmétiques) et un cannabinoïde. En plus de ses propres gammes de produits cosmétiques, Amyris a établi plusieurs partenariats avec ce secteur (L'Oréal, Estée Lauder, Shiseido et autres). Amyris se présente comme le « principal fabricant d'ingrédients durables fabriqués avec la biologie de synthèse » (Amyris, s.d.b [ma traduction]). Son objectif écologique est de réduire l'exploitation de ressources naturelles en produisant des molécules identiques à celles qui sont extraites de l'environnement (Amyris, s.d.b).

Glowee (mentionnée dans 3 articles)

Glowee est une start-up française dont les laboratoires se trouvent à Évry. Elle a été fondée par trois étudiants en 2015, dont une étudiante de design, Sandra Rey, qui est actuellement la PDG de l'entreprise (Malboeuf, 2019). Glowee a ramassé des investissements de 1,3 million d'euros, notamment à travers de campagnes de *crowdfunding*¹³² (Lienhard, 2019). Elle développe la bioluminescence, c'est-à-dire l'émission de lumière à partir de bactéries. Par rapport à l'éclairage traditionnel, cette technologie permettrait de réduire « la consommation de ressources limitées et la pollution engendrée par leur extraction, transformation et exportation » (Glowee, s.d.b). Glowee propose principalement du mobilier urbain lumineux. Ce produit n'est pas encore commercialisé, mais l'entreprise a réalisé un projet pilote dans la ville de Rambouillet. Elle propose également des installations immersives (disponibles pour des événements) ainsi qu'un jeu de société qui ne fait pas usage de la technologie, mais qui fait découvrir celle-ci de manière ludique au public (Glowee, s.d.a ; Glowee, s.d.e).

¹³¹ « rare bioidentical molecules, essential ingredients and clean, effective everyday products » (Amyris, s.d.b).

¹³² Le *crowdfunding* est un modèle de financement fondé sur les contributions financières du grand public collectées via une plateforme en ligne.

2.1.6. Transfert des documents

Pour procéder à l'analyse de discours, j'ai utilisé Atlas.ti, un logiciel informatique qui facilite l'analyse de contenu qualitatif grâce à ses fonctions d'annotations, de codage et de catégorisation. Préalablement, tous les articles médiatiques ont été enregistrés en format PDF via la base de données Eureka. Plutôt que de joindre l'ensemble des articles dans un unique document, je les ai transférés un à un sur le logiciel Atlas.ti. Cette opération a permis de les grouper selon leur journal de provenance ainsi que de les comptabiliser plus aisément. Lorsque l'ensemble des articles a été téléchargé, j'ai amorcé le codage via Atlas.ti. Pour ce qui est des sites Web d'entreprises, j'ai exécuté la fonction « copier » sur l'ensemble du contenu écrit de chaque site. Ensuite, j'ai « collé » les propos recueillis dans un document vierge d'Atlas.ti. Un document a été produit pour chaque entreprise. Le rapport *Sustainability Report. Caring at Ginkgo a*, quant à lui, été téléchargé via le site de Ginkgo Bioworks puis transféré en format PDF sur Atlas.ti.

2.2. L'analyse sémantique de contenu discursif

Au regard de la construction des données sociologiques ainsi que de la description du matériau qui viennent d'être d'exposées, il faut établir la perspective avec laquelle seront interprétées les données ainsi que la méthodologie employée pour ce faire. Pour relever les métaphores qui m'intéressent dans les discours à l'étude, je devrai réaliser une analyse de contenu discursif. Selon la définition de Laurence Bardin, l'analyse de contenu est

Un ensemble de techniques d'analyse des communications visant, par des procédures systématiques et objectives de description du contenu des messages, à obtenir des indicateurs (quantitatifs ou non) permettant l'inférence de connaissances relatives aux conditions de production/réception (variables inférées) de ces messages. (Bardin, [1977] 2013 : 47)

Dans le cas plus particulier de l'analyse de contenu discursif, il faut se pencher sur l'énoncé, c'est-à-dire « l'ensemble des signes produits (un horizon) et plus spécifiquement un ensemble de séquences de signes » (Ramognino, 2013 : 192) qui détient des conditions sociales de production et de réception. Plusieurs types d'analyse de contenu discursif existent : analyse linguistique, pragmatique, thématique, sémantique (Sabourin, 2003). Pour ce travail, j'ai choisi de procéder à une analyse sémantique des discours. Les unités

sémantiques que je cherche à identifier sont les expressions métaphoriques présentes dans les discours médiatiques et publicitaires.

Sabourin énonce trois étapes de l'analyse de discours auxquelles je procéderai. La première consiste à sélectionner les discours pertinents pour l'objet d'analyse. Cette étape a déjà été amorcée dans les pages précédentes concernant la construction des données. Cependant, il restera, dans la prochaine section, à localiser les discours choisis en prenant en compte « [leurs] énonciateurs, [leurs] destinataires [et] les particularités de [leur] écriture » (Sabourin, 2003 : 429). Dans un deuxième temps, il faudra opérer un découpage du texte dans lequel on identifie les unités de sens relatifs à l'objet de recherche (Sabourin, 2003). Selon la méthodologie de Rudolph Schmitt (qui s'appuie sur les travaux de Lakoff et Johnson), lors de la lecture des documents, il faudra relever les expressions métaphoriques via une segmentation des textes. Pour être considérés comme une expression métaphorique, les mots ou les phrases doivent remplir certains critères :

- a. a word or phrase, strictly speaking, can be understood beyond the literal meaning in the context; and
- b. the literal meaning stems from an area of sensoric or cultural experience (source area),
- c. which, however, is transferred to a second, often abstract, area (target area) (Schmitt, 2005 : 371)

Les formes que prennent les métaphores sont variées. En fait, chaque métaphore conceptuelle contient un vaste lexique métaphorique. Pour l'illustrer, il est pertinent de faire appel à un exemple donné par Lakoff et Johnson dans *Metaphors We Live By*. Ils montrent que la métaphore conceptuelle « Le temps (cible) est de l'argent (source) » se retrouve dans les expressions : « Tu *gaspilles* mon temps ; Ce gadget va te faire *sauver* des heures ; Je n'ai pas de temps à te *donner* ; [...] Ce pneu crevé m'a *coûté* une heure ; J'ai *investi* beaucoup de temps », (Lakoff et Johnson, [1980] 2003 : 8-9 [ma traduction]). De manière plus subtile qu'avec l'énoncé « Le temps, c'est de l'argent », l'ensemble de ces expressions impliquent de comprendre le concept de temps en termes d'argent. Comme cet exemple en témoigne, l'identification de l'ensemble des expressions métaphoriques requiert donc une attention particulière lors de la lecture des documents. Selon la méthodologie développée par Schmitt, chacune de ces expressions doit être notée puis mise dans une liste (Schmitt, 2005). Ce procédé sera réalisé grâce à Atlas.ti. Ce logiciel permet

de surligner des segments de texte et de les enregistrer dans le logiciel. Comme l'explique Schmitt, les expressions métaphoriques identifiées ne peuvent pas être analysées de manière isolée. Pour cette raison, après cette étape de segmentation, il faut procéder à une « reconstruction » des métaphores conceptuelles auxquelles réfèrent les expressions linguistiques identifiées. Pour ce faire, « Toutes les métaphores appartenant à la même source et décrivant la même cible sont groupées en concepts métaphoriques sous l'intitulé "la cible est la source" »¹³³ (Schmitt, 2005 : 372-373 [ma traduction]). Encore une fois, le logiciel Atlas.ti sera ici utile. Il permet de catégoriser les segments analysés afin de les grouper ensemble.

2.3. Localisation des discours

Dans les prochains paragraphes, je situerai la relation entre l'émetteur du discours, son contenu ainsi que son récepteur puisque cette relation est constitutive de la formation des métaphores. Je réaliserai ce travail pour les deux types de discours à l'étude.

2.3.1. Discours de vulgarisation scientifique

Les discours médiatiques ont comme rôle de diffuser l'information à un public large. Dans le cas plus précis des discours de vulgarisation scientifique, ils doivent reformuler et diffuser un savoir expert à un public profane. Différents acteurs participent à leur formulation. Il peut s'agir de vulgarisateurs, c'est-à-dire des journalistes spécialisés dans la rédaction de ce genre d'articles. Il y a aussi plusieurs chercheurs qui présentent eux-mêmes les avancées de leurs travaux¹³⁴ (Jacobi, 1985). Bensaude-Vincent, en historicisant la vulgarisation scientifique, montre qu'elle a dépendu de la construction d'un fossé entre l'élite scientifique et un public ignorant « en manque de science » (Bensaude-Vincent, 2010 : 1). Depuis le XXI^e siècle, la visée de la vulgarisation est toutefois présentée sous des allures démocratiques ; son rôle serait d'interagir avec des citoyens qui sont en droit de formuler des opinions sur les programmes de recherche et les innovations

¹³³ « All metaphors belonging to the same image source and describing the same target area are grouped into metaphorical concepts under the main heading "target is source" » (Schmitt, 2005 : 372-373).

¹³⁴ Comme je l'ai constaté lors de l'analyse, cela prend souvent la forme d'une entrevue. Un journaliste pose quelques questions à un biologiste de synthèse afin qu'il présente l'avancée de ses travaux. Les réponses de ce dernier sont retranscrites dans l'article.

développées. Or, sous ce couvert, la vulgarisation participe plutôt à sacraliser la science. Comme le montre Bensaude-Vincent, avec les technosciences contemporaines, le progrès est naturalisé. Dans ce contexte, la vulgarisation participe à « maint[enir] les citoyens en position de spectateurs passifs d'une dynamique qui leur échappe et sur laquelle ils ne peuvent influencer » (Bensaude-Vincent, 2010 : 9). En ce sens, elle se place en continuité avec le régime technoscientifique. La place prépondérante que jouent les technosciences dans les sociétés contemporaines se manifeste d'ailleurs par une intensification de la production et de la consommation des discours de vulgarisation (Boucher et Schiele, 2003).

2.3.2. Discours publicitaire

Tel que l'a soutenu Sacriste, le discours publicitaire n'a pas comme rôle principal de diffuser « une seule et simple information économique » (Sacriste, 2001 : 492). En réalité, le discours publicitaire tient compte de son public (ses normes, ses valeurs, ses désirs, etc.) puisqu'il cherche à lui plaire. Il n'y a donc pas un véritable fossé entre la publicité et son public, mais plutôt un « principe relationnel : la publicité n'existe que dans et pour un certain environnement » (Sacriste, 2001 : 495). Dans le cas des discours des entreprises de la biologie de synthèse, ceux-ci s'inscrivent directement dans le modèle bioéconomique. Comme il a été précisé dans le dernier chapitre, ces entreprises doivent développer des innovations brevetables et/ou élaborer des partenariats avec de grands groupes industriels. Plusieurs d'entre elles n'ont pas, à ce jour, de produits prêts à être commercialisés. Donc, leur contenu publicitaire est plutôt axé sur : l'annonce de produits futurs, la recherche d'investisseurs, la vente d'outils spécialisés à des laboratoires et la présentation de projets qui doivent plaire au public¹³⁵. Ces discours ont été formés par plusieurs acteurs. D'abord, les scientifiques-entrepreneurs qui orientent leurs recherches vers une visée marchande. Des agences de marketing sont aussi généralement mobilisées pour la mise en forme de la publicité.

¹³⁵ À la lumière des controverses qui ont émergé (surtout en Europe) avec le développement d'organismes génétiquement modifiés (OGM) en agriculture, l'objectif d'attirer une opinion favorable de la part du public est non négligeable (à ce sujet, voir Aguiton, 2018).

2.4. La mise en relation de l'objet de recherche et du matériau d'analyse

Après avoir décrit de manière empirique les matériaux, il est désormais temps de montrer comment ils permettent de mettre en lumière l'objet d'analyse. Pour ce faire, il faudra ici détailler la grille d'analyse avec laquelle je découperai mes matériaux. Je les diviserai en trois grandes catégories comprenant les métaphores dont la cible est 1) le vivant, 2) sa manipulation et 3) les potentiels bienfaits attachés à sa fabrication. J'ai codé, via Atlas.ti, l'ensemble des segments sur la base de cette catégorisation. Ensuite, j'ai pu élaborer des sous-catégories permettant de classer les segments selon la métaphore conceptuelle dans laquelle ils s'inscrivent.

La première catégorie comprend les métaphores dont la cible est les propriétés du vivant. Elle concerne toute expression métaphorique qui pose le vivant (ses caractéristiques, son organisation, sa structure, ses comportements, etc.) dans les termes d'un autre objet. Il est important de remarquer que cette première catégorie comprend seulement les métaphores du vivant non modifié. Autrement, il s'agira de relever les expressions qui concernent les caractéristiques des entités biologiques préalablement à toute intervention des biologistes de synthèse. À la lumière de l'apport théorique exposé dans les deux premiers chapitres, je tenterai de voir si les métaphores mécaniques ou informationnelles sont prédominantes dans les discours médiatiques et publicitaires. Dans cette visée, j'ai établi deux sous-catégories qui permettront de classer les expressions qui renvoient à 1) la métaphore conceptuelle du vivant-machine et 2) la métaphore conceptuelle du vivant informationnel. Les autres types de métaphores seront classés dans des sous-catégories élaborées au fil de l'analyse de discours.

La deuxième catégorie comprend les expressions métaphoriques qui ont comme cible l'ingénierie du vivant. Plus précisément, il s'agit de toutes les expressions qui concernent les interventions, les transformations, les manipulations effectuées par les biologistes de synthèse sur les organismes. En mettant au jour comment le projet de fabrication du vivant est perçu, il sera possible de voir si les métaphores mécaniques et informationnelles sont prégnantes. J'ai donc ici aussi élaboré les sous-catégories référant à 1) la métaphore conceptuelle du vivant-machine et 2) la métaphore conceptuelle du vivant

informationnel. Encore une fois, les autres sous-catégories seront formulées au fil de l'analyse.

Enfin, la troisième catégorie touche aux métaphores qui ont comme cible les potentielles retombées de l'ingénierie du vivant. Comme je tente de voir si la double promesse de la biologie de synthèse est à l'œuvre dans ses promesses écologiques, cette catégorie a été divisée en deux sous-catégories. Il s'agit d'abord des métaphores qui concernent 1) les potentiels profits économiques ainsi que 2) les potentiels bienfaits écologiques de la fabrication du vivant. Cette catégorie permettra de faire le pont entre les promesses de la biologie de synthèse et les métaphores identifiées dans les deux précédentes catégories.

Chapitre IV - L'analyse

À travers l'ensemble des discours analysés, aucune définition consensuelle de la vie biologique n'a pu être relevée. Comme je l'ai énoncé dans le premier chapitre, une telle définition n'existe pas en biologie de synthèse ni, plus largement, dans le secteur des biotechnologies (Lafontaine, 2021 ; Landecker, 2005). En fait, les avancées de ces domaines déstabilisent profondément les définitions du vivant. À titre d'exemple, Venter, après l'élaboration de sa cellule synthétique en 2010 annonce que « Cette percée change ma vision de la définition de la vie et de son fonctionnement » (Le Devoir, 2010). Ainsi, les discours étudiés décrivent plutôt les techniques et les objectifs des projets en biologie de synthèse. Reflétant la visée instrumentale du domaine, la question de définir et comprendre les processus biologiques est souvent éclipsée.

L'un des buts de l'exercice [de la biologie de synthèse] est donc de comprendre quelles fonctions sont strictement nécessaires pour l'apparition et le maintien de la vie. Ce qui amène aussitôt à une question fondamentale : qu'est-ce que le vivant ? Certains conseillent de ne pas y perdre trop de temps. Dans un texte de 2010, Edouard Machery, du département d'histoire et de philosophie des sciences, à l'université de Pittsburg aux Etats-Unis, posait ainsi un dilemme selon lequel « le projet de définir la vie est soit impossible, soit inutile ».

L'autre but est plus pratique avec, à la clé, de nombreuses applications. « Disposer d'un système simple et programmable offre un meilleur contrôle que d'utiliser, comme aujourd'hui, des systèmes vivants complexes », rappelle Vincent Noireaux, professeur à l'université du Minnesota (Etats-Unis), pionnier du domaine. (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023)¹³⁶

Malgré l'absence de définition claire et consensuelle, plusieurs discours relèvent certaines propriétés du vivant. En effet, en présentant les projets menés en biologie de synthèse, les discours mettent de l'avant certaines caractéristiques des organismes manipulés par les chercheurs. À travers l'analyse des métaphores contenues dans les documents traités, il est possible de les mettre en relief. Cette analyse démontre que les manières de percevoir le vivant s'appuient généralement sur une conception mécaniciste (Nicholson, 2013). Comme les prochains paragraphes le montreront, plusieurs expressions métaphoriques se rapportent à la métaphore conceptuelle du vivant-machine. Dans cette première section de

¹³⁶ Pour ce présent chapitre, dans les citations des articles analysés, en plus du nom de l'auteur, le journal d'appartenance est spécifié. Par exemple : (Burgard, Le Devoir, 2011). Cet ajout permet de mieux contextualiser les citations. Pour les articles dont l'auteur est inconnu, seulement le nom du journal est cité.

l'analyse, il sera d'abord question de montrer la continuité avec les représentations mécaniques identifiées lors du chapitre II. J'expliquerai ensuite que, dans le contexte de l'imaginaire de la biologie de synthèse, ce type de métaphores véhicule l'ambition de contrôler de manière précise et prévisible les processus biologiques. Puis, dans la deuxième section de l'analyse, je pourrai alors montrer comment ces métaphores nourrissent l'idée d'une mise en ressource, mais aussi d'une mise au travail du vivant. Cette partie permettra de faire le pont entre les métaphores du vivant analysées et l'imaginaire de la croissance verte ainsi que l'imaginaire de la bioéconomie.

1. La persistance des métaphores mécaniques et informationnelles du vivant

1.1. La métaphore du vivant-machine

De manière générale, l'analyse a permis de constater que les discours autour de la biologie de synthèse véhiculent et renforcent bel et bien la métaphore conceptuelle du vivant-machine (Nicholson, 2012). Un important lexique métaphorique s'organise autour de celle-ci. Il tend à véhiculer une indifférenciation entre le vivant et la machine. De manière éloquente, la page d'accueil de Ginkgo Bioworks s'ouvre sur cette affirmation : « *Biology is the most advanced manufacturing technology¹³⁷ on the planet* » (Ginkgo Bioworks, s.d.i [je souligne]). Opérant également un rapprochement avec la machine, plusieurs métaphores posent les constituants de l'organisme comme des parties interagissant entre elles de manière déterminée. Par exemple, les composants d'une bactérie sont assimilés à des « unités de production d'enzymes et de protéines » (Bensimon, Libération, 2010). De plus, à de multiples reprises, la cellule est posée en tant que « machinerie » composée de « machines moléculaires » (Étien, La Recherche, 2011 ; David, Le Devoir, 2019 ; Ginkgo Bioworks, 2023, s.d.e) « qui réalisent des tâches extrêmement élaborées » (Vernet, La Recherche, 2017). On trouve l'exemple le plus détaillé de cette métaphore dans un article du magazine La Recherche :

les machines moléculaires¹³⁸ sont des molécules - souvent complexes - qui exercent une action mécanique. Des machines d'assemblage fabriquent les

¹³⁷ On peut traduire « manufacturing technology » par « technologie de fabrication ».

¹³⁸ L'article aborde ici surtout des protéines (La Recherche, 2017).

molécules d'ADN, d'autres construisent le cytosquelette - l'architecture dynamique sous forme de polymères biologiques des cellules qui leur confère ses propriétés mécano-biologiques. (Vernet, La Recherche, 2017)

Ces expressions sont loin d'être uniques aux discours relatifs à la biologie de synthèse. En fait, la description du complexe cellulaire en termes mécaniques provient du langage des biologistes moléculaires¹³⁹. Si ces métaphores ont une valeur rhétorique¹⁴⁰, il n'empêche qu'elles ont l'impact de poser, à tort¹⁴¹, le complexe cellulaire comme une structure rigide et précisément coordonnée (Nicholson, 2013).

Poussant à l'extrême l'idée du vivant comme machine, un article de La Recherche surnomme la biologie de synthèse le « Meccano du vivant » (qui est d'ailleurs le titre de l'article). Meccano est en réalité un jeu de construction où, en assemblant des pièces, les amateurs construisent des voitures, des tracteurs, des camions, des grues, etc. (Leglu, La Recherche, 2020). À la suite de leur construction, ces machines – dont certaines sont motorisées – sont dotées de mouvements contrôlables par les amateurs. Cette métaphore résonne avec les discours qui assimilent les manipulations effectuées par les biologistes de synthèse à un « jeu de construction » (Huet, Libération, 2011 ; Perez, Les Echos, 2012) ou de « Lego » (Malboeuf, La Presse, 2019 ; Perez, Les Echos, 2011). Comprendre la biologie de synthèse sous l'angle d'un jeu de construction induit l'idée que les entités biologiques se manipulent de manière simple et prévisible. Plus généralement, les métaphores présentent le vivant en tant que machine participant à une telle conception. Il y apparaît comme une entité composée « pièces » (Gravel, Le Devoir, 2014 ; Klingler, La Recherche, 2010a) ou de « morceaux » (Letarte, Le Devoir, 2013) pouvant être isolés puis réassemblés. De plus, comme avec les pièces d'une machine, cet assemblage se ferait sur une base

¹³⁹ Nicholson date leur introduction à l'année 1998 dans une édition du journal *Cell* « which brought together a series of papers that systematically called for the adoption of machine language in the description of large protein complexes » (Nicholson, 2013 : 675).

¹⁴⁰ « instead of playing a theoretical role in the explanation of subcellular assemblies, the term 'molecular machine' is primarily used for rhetorical purposes as a way of introducing newcomers to the subfield of molecular biology devoted to the structural characterization of large subcellular assemblies » (Nicholson, 2013 : 676).

¹⁴¹ Pour une analyse approfondie sur cet aspect voir Nicholson (2019). « The cell is *not* a machine, but something altogether different—something more interesting yet also more unruly. It is a bounded, self-maintaining, steady-state organization of interconnected and interdependent processes; an integrated, dynamically stable, multi-scale system of conjugated fluxes collectively displaced from thermodynamic equilibrium » (Nicholson, 2019 : 123).

entièrement déterministe ; aucune réaction imprévue n'est envisageable avec ce type de métaphores. Sans oublier qu'elles ont une visée communicative – et que l'image d'un jeu de construction Meccano ou Lego est efficace vue sa popularité au sein du public – ces métaphores transmettent une vision assez réductrice des processus biologiques. Elles mettent surtout de l'avant l'idée que les entités biologiques peuvent facilement être déconstruites puis réassemblées comme les parties d'une machine. Leur organisation refléterait « un design préexistant, dont la structure est gouvernée par des lois déterministes, rendant son comportement prévisible et contrôlable » (Nicholson, 2019 : 108-109). Dans les pages suivantes, je montrerai toutefois que c'est surtout via le lexique informationnel que cette conception est relayée.

1.2. La métaphore du vivant informationnel

Selon les travaux de Nicholson, l'ordinateur constitue la machine paradigmatique avec laquelle le vivant est représenté depuis le milieu du XXe siècle (Nicholson, 2012). Cette tendance a été confirmée dans l'analyse de discours. Indubitablement, la métaphore informationnelle est dominante dans les discours médiatiques et publicitaires présentant la biologie de synthèse. Que ce soit dans la manière de décrire les organismes ou dans la manière de décrire le travail des biologistes de synthèse, le lexique informationnel est prégnant ; c'est ce que j'étaierai à l'aide d'exemples dans les pages qui suivent.

Tel qu'expliqué lors du chapitre théorique, le modèle informationnel a envahi les sciences du vivant via l'usage métaphorique de son lexique (Fox Keller, 1999). Comme l'a montré Fox Keller, cette compréhension du vivant a été contestée depuis la biologie moléculaire des années 1950-60. Depuis au moins le Projet Génome Humain (1990-2003), il a notamment été reconnu que le dogme central (ADN = ARN = protéine) représentait de manière réductionniste la relation entre les gènes et les organismes vivants (Fox Keller, 1999 ; Fox Keller, 2003 ; Hellsten et Nerlich, 2004). Le concept de gènes, en tant qu'unités d'information qui déterminent l'ensemble de l'organisme, a été fortement ébranlé. Ainsi, les métaphores de « code » ou de « programme » génétiques provenant du modèle informationnel ont également montré leurs limites. Elles ne permettent pas de saisir une foule de phénomènes biologiques comme, entre autres : la relation complexe entre les

gènes, les protéines et l'environnement (Hellsten et Nerlich, 2004), les gènes « non codant » qui ne correspondent pas à la production d'une protéine (Fox Keller, 2003) et le caractère dynamique de l'organisation cellulaire (Nicholson, 2020). Malgré tout, et comme le montrait Fox Keller à la toute fin des années 1990, le discours de l'action génique est toujours dominant dans l'imaginaire contemporain (Fox Keller, 1999). La prégnance de ces métaphores peut s'expliquer par leur ancrage profond et leur efficacité dans l'imaginaire collectif. En effet, le discours de l'action génique a été mobilisateur non seulement pour la communauté scientifique, mais également pour l'ensemble du public (Fox Keller, 1999 ; Fox Keller, 2003 ; Hellsten et Nerlich, 2004 ; Turney, 2005). L'analyse des discours autour de la biologie de synthèse abonde en ce sens. Autant dans les discours publicitaires que médiatiques, les métaphores informationnelles du vivant foisonnent. Les gènes sont compris en termes de « code » (Hecketsweiler, *Le Monde*, 2017 ; Mercure, *La Presse*, 2018), de « programme » (Bikard, *Les Echos*, 2017 ; Gravel, *Le Devoir*, 2014), d'« information » (Jalinière, *Sciences et Avenir*, 2017 ; *Journal de Montréal*, 2010), de « texte » (Bensimon, *Libération*, 2010 ; *Science & Vie*, 2013a) ou d'« alphabet » (Leblanc, *Québec Science*, 2020 ; *Le Monde*, 2016). Comme on peut le constater avec ces exemples, le langage métaphorique employé met de l'avant le rôle déterminant des gènes dans l'organisation et la structure des organismes. Nourrissant une tendance au réductionnisme génétique, l'ADN est encore perçu comme « une molécule qui code les caractéristiques de tous les organismes vivants » (Simard, *La Presse*, 2022), « la banque centrale où sont stockées les données brutes qui nous définissent » (*Science & Vie*, 2013a) ou encore « le support d'information génétique [qui] contient les informations qui caractérisent un organisme et son fonctionnement » (*Journal de Montréal*, 2010). L'ensemble de ces métaphores témoignent de la persistance du modèle informationnel pour penser le vivant. En fait, elles montrent que les expressions empruntées à la cybernétique et introduites en biologie moléculaire vers les années 1950 continuent d'être largement utilisées au sein de la communication scientifique.

Les métaphores employées pour décrire les manipulations effectuées par les biologistes de synthèse témoignent encore plus fortement de la prégnance de la conception informationnelle du vivant. De manière significative, les discours posent que la biologie

de synthèse consiste à « manipuler l'ADN comme on code un programme informatique » (Bikard, Les Echos 2017), « reprogrammer les gènes » (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023), faire un « copier-coller » de la « recette » contenue dans l'ADN (Rivard-Boudreau, Québec Science, 2020), « décrypter la séquence d'ADN » puis la « recopi[er] » (Bensimon, Libération, 2010) ou encore « recréer la vie, façonner l'ADN qui en est le code » (Le Monde, 2010). Avec éloquence, le discours publicitaire de Ginkgo Bioworks montre non seulement que le vivant est assimilé à un ordinateur dont on peut prendre les commandes, mais qu'il est valorisé précisément pour cette raison :

perhaps the most astonishing feature of biology is that it runs on digital code in the form of DNA, which makes it possible for us to imagine building such living machines. The code is made up of As, Ts, Cs, and Gs, and we can read and write it to program cells like we program computers. (Ginkgo Bioworks s.d.h [je souligne])

L'idée de « programmer le vivant comme on programme un ordinateur » revient aussi dans nombreux articles de vulgarisation scientifique. À plusieurs reprises, les projets de la biologie de synthèse sont posés comme une « reprogrammation » du génome, de la cellule, du micro-organisme ou de l'organisme (Leblanc, Québec Science, 2020 ; Lentschner, Le Figaro, 2021 ; Piffaretti, Les Echos, 2022 ; Sciama, Le Monde, 2016). Considérant la redondance de la métaphore du « programme » dans l'ensemble des discours analysés, il est pertinent de s'y pencher plus en détails. Si l'on s'en tient à la définition populaire d'un programme informatique, il consiste en « une liste d'ordres indiquant à un ordinateur ce qu'il doit faire » (Techno-Science.net, s.d.). Mis sur le même plan qu'un programme informatique, les gènes correspondraient à une série d'instructions qui déterminerait l'ensemble de l'organisme. De ce fait, cette métaphore réduit le vivant à des processus de stockage, de transmission et d'expression de l'information qui serait contenue dans son « programme ». La manipulation de ce dernier semble équivaloir à « prendre les commandes » (Le Monde, 2010) de l'ensemble de l'organisme, et ce, de manière prévisible et précise. Une autre métaphore fréquente dans les articles de presse associe, elle aussi, les manipulations des biologistes de synthèse à un contrôle efficace des organismes vivants. Il s'agit de la métaphore du « circuit microélectronique ». Comme l'a montré Hilgartner, la mise en parallèle de l'ingénierie microélectronique et de la biologie de synthèse constitue une extension de la métaphore conceptuelle de l'ordinateur (Hilgartner, 2015).

« *Les ingénieurs travaillent avec la matière vivante comme ils le faisaient avec la matière inerte. Ils appliquent le processus traditionnel de l'ingénierie qui prévoit le design, la construction, le test et l'évaluation. Pour eux, une cellule est l'équivalent du châssis d'un ordinateur, les gènes des interrupteurs ou des résistances qu'on attache à la plaque d'un circuit électronique. Cette façon de faire est désormais possible grâce à nos connaissances actuelles en biologie* », précise Vincent Martin, chercheur en biologie synthétique à l'Université Concordia. (Gravel, *Le Devoir*, 2014 [je souligne])

À l'image des machines assemblées par les ingénieurs en microélectronique, le vivant est ici comparé à un ensemble de parties qui interagissent ensemble de manière calculée (Nicholson, 2012). Mettant de l'avant la malléabilité du vivant, il semble possible de le déconstruire et de le réassembler de manière efficace, précise et prévisible – comme on pourrait faire avec les matériaux utilisés pour construire un « circuit microélectronique » (Burgard, *Le Devoir*, 2011). Grâce à l'application d'une approche « rationnelle » (Gravel, *Le Devoir*, 2014 ; Perez, *Les Echos*, 2012), il est annoncé que les chercheurs atteindront un contrôle plus grand et sophistiqué des organismes vivants.

1.3. La mise de l'avant d'une logique de contrôle

En s'appuyant sur l'analyse développée par Brian Wynne, il est possible d'avancer que les métaphores qui viennent d'être survolées trouvent leur efficacité dans la logique de contrôle qu'elles mettent de l'avant. Wynne précise que c'est surtout dans les discours destinés au public que ce type de représentation est véhiculée, plutôt qu'au sein des discours destinés à la communauté scientifique¹⁴². Il montre que si, dans les dernières décennies, la complexité génomique a été mise en lumière, la volonté de contrôle demeure omniprésente dans l'imaginaire. Ainsi, la métaphore du vivant informationnel repose sur « le but assumé d'un contrôle prédictif »¹⁴³ (Wynne, 2005 : 74) du vivant. Il est possible de constater la prégnance de cette logique à travers l'examen des métaphores. Comme les exemples suivants le démontrent, les métaphores informationnelles sont connectées à l'idée d'un contrôle radical des organismes.

¹⁴² Bien qu'il pose cette distinction, Wynne souligne la place importante que joue l'imaginaire du public dans les développements scientifiques : « I talk of *public science*, in the sense of scientific knowledge in which we may identify such implicit human-public dimensions as part of the science itself » (Wynne, 2005 : 68-69).

¹⁴³ « the assumed aim of predictive control » (Wynne, 2005 : 74).

On ne parle plus ici de modifications marginales, dotant un organisme d'un caractère additionnel, mais bien de manipulations en profondeur du génome, voire de réécriture intégrale. (Leblanc, Québec Science, 2020)

Un autre enjeu [pour réaliser des transplantations de génomes] est trouver le « démarreur » qui permet à un programme génétique transféré dans une autre cellule de se « booster », comme le fait le système d'exploitation au lancement d'un ordinateur. (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023)

C'est surtout dans les articles médiatiques abordant la xénobiologie que cette tendance est la plus apparente. Dans ces exemples, le contrôle permis par la biologie de synthèse apparaît comme étant poussé à l'extrême.

De proche en proche, tous les composants de l'ADN seront soumis à un tel « morphing »¹⁴⁴ chimique, jusqu'à faire bifurquer une lignée bactérienne du reste de la Création. (Marlière, Le Figaro, 2012)

« La chimie – celle du vivant comme de la matière inerte – est essentiellement une grammaire, une syntaxe. Comme pour toutes syntaxes, il faut en connaître et en respecter les règles. Mais rien ne nous interdit de forger des néologismes », estime Philippe Marlière. Avec ce « xeno nucleic acid » (XNA) verront le jour des « organismes chimiquement modifiés » (OCM) qui renverront nos OGM rudimentaires d'aujourd'hui aux oubliettes de l'histoire. (Verdo, Les Echos, 2013)

Enfin, le discours publicitaire de Ginkgo Bioworks est encore une fois particulièrement révélateur. Le contrôle permis par la « programmation » du vivant paraît ouvrir un champ de possibilités sans limites :

Synthetic biology is the idea that we can program cells (biological machines) in the same way that we program computers. Biology runs on digital code (like a computer's 0s and 1s) in the form of DNA, made up of A's, T's, C's, and G's, and we can read and write it to program cells. This allows synthetic biologists to reimagine the possibilities of living things, from bacteria that fight cancer to rewilding whole ecosystems. (Ginkgo Bioworks, s.d.e)

Puisqu'il « fonctionne sur [un] art de la théâtralisation » (Sacriste, 2001 : 493), le discours publicitaire de Ginkgo Bioworks pousse à l'extrême l'assimilation du vivant à un ordinateur. Il n'empêche qu'il entre en résonance avec le lexique informationnel repéré dans le reste des discours analysés. En somme, l'utilisation répétée de la métaphore conceptuelle de l'ordinateur informe du rapport au vivant auquel elle renvoie. Elle le pose

¹⁴⁴ Le « morphing » est une technique informatique qui permet la « transformation continue, animée d'une image en une autre » (Larousse, s.d.d).

comme une entité entièrement soumise au contrôle des biologistes de synthèse. Ce contrôle, dans les mots de Ginkgo Bioworks, ne permettrait rien de moins que de « réimaginer les possibilités des êtres vivants ». De cette manière, l’imaginaire de la biologie de synthèse semble promettre un contrôle illimité des processus biologiques.

1.3.1. Double mouvement : dépasser la complexité par un plus grand contrôle

La mise en lumière de l’ambition de contrôler le vivant permet de comprendre un double mouvement présent dans les discours à l’étude. Dans plusieurs documents, la complexité des processus biologiques est soulevée. Or, en même temps, la compréhension du vivant en termes informationnels est réitérée.

Les chercheurs imaginent aussi des combinaisons qui seraient les analogues de commandes du langage informatique. Mais le vivant est *moins* aisé à régler qu’un circuit électronique : « Il suffit d’un délai de deux minutes dans l’expression d’un gène pour enrayer la synchronisation d’un ensemble de cellules », témoigne Jeff Hasty (Université de San Diego, Californie). (Morin, Le Monde, 2010b [je souligne])

Dans le cas du site de Ginkgo Bioworks, dans sa section « Carrières », l’entreprise reconnaît la difficulté de son projet de « programmer » n’importe quelle cellule. Dans un même mouvement, l’entreprise reprend toutefois la métaphore machinique et informationnelle :

Engineering biology isn’t easy. It is frustratingly, painfully difficult. It’s programming without a debugger, manufacturing without CAD [Computer-Aided Design], and construction without cranes. At Ginkgo we are building a team that can build debuggers, write CAD, and operate cranes. (Ginkgo Bioworks, s.d.b)

Dans ces citations, les difficultés qui se présentent à l’ambition de manipuler et contrôler le vivant sont loin de signer l’abandon de la métaphore informationnelle. Plutôt que d’être contesté, rejeté ou remplacé, le lexique de cette dernière perdure. Il apparaît que la complexité du vivant est un élément qui peut être dépassé et qui ne nécessite pas de reformuler la métaphore informationnelle. Comme le rappelle Wynne,

complexity is simply a complex object per se, but one ultimately amenable to control. Even if lack of control (« uncertainty ») has to be admitted, it is only as a temporary, strictly limited problem (which deletes ignorance or lack of control under the misleading label of acknowledged « uncertainty »). (Wynne, 2005 : 71)

En somme, la reconnaissance du caractère complexe des processus biologiques ne remet pas en question la logique de contrôle qui sous-tend l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Cependant, dans les prochains paragraphes, je montrerai l'existence de métaphores qui n'appartiennent pas à la conception mécaniciste du vivant dans certains articles de presse. Dans ces cas, la logique de contrôle n'est pas véhiculée par les discours.

1.4. Autres métaphores : complexité biologique et limites au contrôle

Dans les précédents paragraphes, j'ai mis en évidence que la métaphore conceptuelle du vivant-machine, formulée en termes informationnels, était prégnante dans les discours publicitaires et médiatiques de la biologie de synthèse. Or, il est pertinent de soulever qu'à quelques reprises, la métaphore machinique et son lexique sont ouvertement contestés dans des articles de presse.

« L'idée de départ de la biologie de synthèse était la suivante : on ouvre le capot du vivant, on bricole le moteur et on transforme la 2 CV en Ferrari. Mais les choses ne paraissent pas si simples », constate [Thomas Heams]. (Verdo, Les Echos, 2013)

Le principe formalisé par Crick un gène, un ARN, une protéine, une fonction a en effet vécu. L'importance des mécanismes dits épigénétiques, par lesquels l'environnement influe sur l'expression des gènes dans un ballet d'interactions entre ADN, ARN et protéines [...], a sonné le glas de cette trop belle simplicité. Au point qu'il devient difficile pour les biologistes d'admettre encore que l'ADN contient des « gènes » au sens historique du terme. Quant à la notion d'un programme génétique sous forme de séquence d'instructions codées dans l'ADN qui déterminerait les étapes de notre développement, cette métaphore a pris également du plomb dans l'aile. En effet, puisque toutes les cellules d'un embryon démarrent avec le même programme, comment se sont-elles, par exemple, différenciées ? (Science & Vie, 2013a)

De manière explicite, les précédents extraits posent que la conception machinique et informationnelle est inadéquate pour rendre compte des processus biologiques. Au-delà des représentations machiniques et informationnelles, on retrouve d'autres types de métaphores. Moins fréquentes et moins systématiques, elles témoignent tout de même de la présence de conceptions divergentes du vivant. Dans la section qui suit, je montrerai que, malgré leur diversité, ces expressions métaphoriques mettent surtout en lumière la complexité du vivant et les limites à son contrôle.

Soulignant la complexité de la génétique, certaines métaphores posent le vivant comme un mystère. Elles s'éloignent ainsi des métaphores informationnelles héritées du dogme central qui pose que la relation entre les gènes et l'organisme était unidirectionnelle et sans influence de l'environnement (Fox Keller, 1999).

Joël de Rosnay ne manque pas de se poser les bonnes questions sur ce *monde de mystère* que reste le fonctionnement des gènes. Même dans une cellule aussi « simple » qu'une bactérie. (Nothias, Le Figaro, 2010 [je souligne])

Mais les chercheurs ignorent encore ce que font précisément cinq des sept gènes assurant une division harmonieuse. « La vie est encore une *boîte noire* », admettait Elizabeth Strychalski, chercheuse au National Institute of Standards and Technology (NIST) américain. (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023 [je souligne])

En réalité, l'expression « boîte noire » pourrait aussi s'inscrire dans la métaphore conceptuelle du vivant-machine puisqu'elle réfère à un « élément logiciel ou matériel dont le fonctionnement est connu et documenté, mais dont la structure interne est inconnue »¹⁴⁵ (Office québécois de la langue française, 1999). Or, considérant son contexte d'énonciation, il semble que cette expression sert plutôt à mettre l'accent sur le caractère inconnu de la dynamique génétique dont il est question. Ainsi, comme on peut le constater dans les deux derniers extraits, poser les processus biologiques en termes de « mystère » ou d'« inconnu » signale certains manques de connaissances qui restreignent l'ambition de contrôler l'ensemble d'un organisme. De plus, comme ces expressions renvoient au « mystère » ou à l'« inconnu » que constituent les gènes, elles se distancient significativement du réductionnisme génétique véhiculé par les métaphores informationnelles. Mettant également l'emphase sur les limites à l'ingénierie du vivant, certaines métaphores présentent la biologie comme un « agent », c'est-à-dire comme une entité ayant sa propre agentivité.

la biologie va désormais *reprendre ses droits* sur l'ingénierie génétique : concevoir de nouveaux génomes artificiels suppose d'étudier les fonctions des gènes, ce qui promet d'être long. (Morin, Le Monde, 2010a [je souligne])

¹⁴⁵ Il s'agit souvent d'un système retrouvé dans un appareil aéronautique ou automobile (Larousse, s.d.b).

Présenté comme un sujet qui détient des droits, le vivant ne semble ici pas se soumettre totalement aux manipulations des ingénieurs. Dès lors, il apparaît que le contrôle promis par la biologie de synthèse est limité, du moins à l'heure actuelle.

La publication de vendredi n'est « que » l'addition des deux étapes précédentes. *La nature a pourtant donné du fil à retordre avant d'accepter de se laisser artificialiser.* Le génome circulaire de *M. mycoides* est long de 1 million de bases. Pour le copier, il a fallu assembler un *puzzle* de 1 000 fragments de 1 080 bases, l'extrémité de chacun se superposant au suivant. (Morin, Le Monde, 2010a [je souligne])

Dans cette citation abordant l'élaboration d'une cellule artificielle par Venter, deux métaphores sont identifiables. D'abord, le vivant est doté d'une agentivité puisqu'il doit « accepter » l'intervention des chercheurs. L'autre expression métaphorique le rapporte plutôt à un « casse-tête », mettant de l'avant la complexité de son organisation. Mises ensemble, ces métaphores permettent de nuancer l'idée d'un contrôle radical du vivant. Dans un même ordre d'idée, quelques discours établissent un lien entre la biologie de synthèse et une activité de « bricolage » (Burgard, Le Devoir, 2011 ; Leblanc, Québec Science 2020 ; Moal, Les Echos, 2016 ; Perez, Les Echos, 2012).

malgré la réussite de cet hybride « vivant-inerte »¹⁴⁶, la BS reste pour l'instant une *activité artisanale* avec une valeur prédictive faible. (Perez, Les Echos, 2012 [je souligne])

Bidouiller des composants de génomes artificiels peut toutefois faire peur. Selon M. Saner, les scénarios catastrophes concernent soit une fuite bactériologique d'un laboratoire, soit des risques pour la santé et l'environnement. (Burgard, Le Devoir, 2011 [je souligne])

Ici, les métaphores manifestent les limites qui se posent à l'ambition de faire l'ingénierie du vivant. De fait, l'idée du « bricolage » évoque une activité dont la réalisation est non linéaire et parfois imprécise. Au niveau de l'imaginaire, cela éloigne la biologie de synthèse de l'approche précise et efficace que constitue le cycle « design, built, test : conception, construction, test » (Jalinière, Sciences et Avenir, 2017). Par ailleurs, la deuxième citation mentionne certains risques engendrés par la biologie de synthèse. La métaphore du bricolage souligne ainsi le caractère imprécis et imprévisible de certaines manipulations.

¹⁴⁶ Il s'agit de la cellule artificielle élaborée par Venter en 2010.

De manière générale, les discours qui ont été présentés dans les derniers paragraphes récusent ou nuancent la logique de contrôle qui est au fondement de l’imaginaire de la biologie de synthèse. Ils témoignent notamment du fait que le projet de réaliser l’ingénierie du vivant possède des limites. Plus précisément, j’ai montré qu’ils présentent des métaphores du vivant qui divergent de sa conception mécaniciste. Celles-ci permettent une compréhension d’aspects des processus biologiques qui ne sont pas pris en compte par les métaphores du vivant-machine et du vivant informationnel. Par exemple, poser la biologie en termes de mystère ou d’agentivité met de l’avant son caractère complexe et imprévisible ainsi que les limites à son contrôle. Ainsi, elles permettent d’enrichir la compréhension des processus biologiques au sein du public non-expert. Cependant, il faut souligner que ces métaphores restent relativement peu fréquentes dans les discours médiatiques et carrément absentes des discours publicitaires. En fait, à l’inverse des métaphores du vivant-machine et du vivant informationnel, peu d’expressions linguistiques métaphoriques se rapportent aux métaphores conceptuelles identifiées dans les derniers paragraphes. Dès lors, elles ne semblent pas être stabilisées et diffusées au sein de l’imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Comme Hellsten et Nerlich l’ont expliqué, l’arrivée de métaphores qui rendent compte de la complexité de certains phénomènes biologiques¹⁴⁷ ne déstabilise pas – ou très peu – les métaphores mécaniques et informationnelles qui sont profondément ancrées dans l’imaginaire collectif (Hellsten et Nerlich, 2004).

Somme toute, la conception mécaniciste traverse les discours médiatiques et publicitaires autour de la biologie de synthèse. Bien que quelques articles de presse fassent état de certaines métaphores divergentes, les métaphores conceptuelles du vivant-machine et du vivant informationnel sont largement présentes au sein du corpus analysé. Il apparaît donc clair que l’imaginaire de la biologie de synthèse reconduit la conception du vivant héritée de la biologie moléculaire et du génie génétique de la seconde moitié du XXe siècle.

¹⁴⁷ Dans leur étude, Hellsten et Nerlich ont étudié les discours relatifs à la génomique suite à la complétion du Projet Génome Humain. Elles montrent que l’avancée des connaissances en génomique ont fait apparaître quelques nouvelles métaphores (par exemple, le génome comme une *salade*). Or, elles montrent que les métaphores héritées du dogme central sont restées dominantes dans l’imaginaire collectif (Hellsten et Nerlich, 2004).

Posant le vivant selon une vision déterministe et réductionniste, cette conception permet d’imaginer son contrôle radical. Comme je le démontrerai dans le reste de ce chapitre, deux types de promesses s’appuient sur cette logique de contrôle. Plus précisément, les métaphores machiniques et informationnelles s’articulent d’une part à l’idée que le vivant est une matière première. Cette tendance s’accorde à la volonté de le mettre en ressource qui traverse l’imaginaire bioéconomique. Comme je l’ai établi dans le retour sociohistorique, cette mise en ressource se fonde sur le projet hautement spéculatif de redéployer la croissance économique du régime néolibéral autour des processus biologiques. Je montrerai que les métaphores qui définissent le vivant comme une matière première durable véhiculent cette ambition. Au niveau de l’imaginaire, il apparaît donc que les potentielles retombées de l’ingénierie du vivant sont associées à sa mise en ressource. Toutefois, plusieurs métaphores véhiculent une conception différente du vivant. S’appuyant aussi sur une conception mécaniciste et une volonté de contrôle, ces métaphores impliquent toutefois un rapport au vivant particulier. Il est assimilé non pas à une matière première, mais bien à une entité productive, voire une force de travail. Dans ces cas, les promesses de la biologie de synthèse prennent la forme d’une mise au travail – à l’échelle moléculaire¹⁴⁸ – du vivant. Plus prégnantes dans l’analyse, les métaphores rattachées à cette conception mettent l’accent sur les fonctions productives des processus biologiques. Comme je l’expliquerai, cette conception s’inscrit aussi dans l’imaginaire de la croissance verte et de la bioéconomie.

De ces deux tendances, une tension émerge entre l’idée d’une mise en ressource et d’une mise au travail à large échelle du vivant. C’est cette tension qui sera déployée et explorée dans le reste de l’analyse.

¹⁴⁸ Je fais cette précision pour distinguer la « mise au travail » du vivant ici évoquée de celle qu’on pourrait associer, par exemple, à la mise au travail des animaux (pour le transport, l’agriculture ou l’énergie. À ce sujet, voir Jarrige (2022)).

2. La mise en ressource du vivant dans l’imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse

Dans les deux premiers chapitres, j’ai expliqué que l’imaginaire de la biologie de synthèse était imbriqué à celui de la bioéconomie. À l’heure de l’épuisement des ressources naturelles, ce modèle prône une exploitation à large échelle des entités biologiques. Puisque ce sont des entités renouvelables¹⁴⁹, elles apparaissent d’emblée comme un ensemble de ressources « durables » (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010). Investie de promesses technoscientifiques, l’exploitation de ces nouvelles ressources devrait permettre la poursuite de la croissance économique. Résonnant avec cet imaginaire, l’analyse de discours a montré que certaines métaphores connectaient le vivant à une matière première qu’il serait possible d’exploiter. S’appuyant sur la logique de contrôle que je viens de mettre en lumière, elles posent le vivant comme une entité inerte et facilement manipulable.

2.1. Le vivant comme matière première

À quelques reprises, les discours médiatiques et publicitaires opèrent une mise en relation entre une entité biologique et une matière première. Ce type de métaphore est généralement teintée du lexique industriel. En fait, les entités biologiques, comme toute autre matière première, semblent pouvoir facilement entrer dans les chaînes de production.

La fonderie de génomes fonctionne comme une fonderie de métal, illustre Vincent Martin, également codirecteur du Centre de biologie synthétique appliquée de Concordia. « *Mais le matériel qu'on utilise, c'est l'ADN plutôt que le métal.* » (Boutros, Le Devoir, 2019 [je souligne])

Clou du laboratoire¹⁵⁰ : un fermenteur d'un litre, à l'échelle du millionième d'une installation industrielle. Dans cette cuve de verre, *5 grammes de bactéries*, plongées dans une solution de 100 grammes de sucre, permettraient en théorie de sécréter 30 grammes d'isobutène, qui donneraient la même quantité d'essence. (Le Hir, Le Monde, 2010 [je souligne])

Dans ces deux exemples tirés de médias généralistes, les entités manipulées par les chercheurs apparaissent comme une matière quantifiable et malléable. Il est aussi

¹⁴⁹ Renouvelable réfère ici au fait que le vivant se développe et se reproduit. Dans leur article, Birch, Levidow et Papaioannou montrent, dans le modèle bioéconomique, ce caractère renouvelable est assimilé à la durabilité environnementale (Birch, Levidow et Papaioannou).

¹⁵⁰ Il s’agit ici du laboratoire de l’entreprise Global Bioenergies.

significatif de remarquer que les installations des biologistes de synthèse sont comparées à celles d'une usine. D'ailleurs, le terme de « fonderie », retrouvé dans d'autres documents (Ginkgo Bioworks, 2022 : 10 ; Leblanc, Québec Science, 2020 ; Mariette, Le Devoir, 2018), fait directement référence à une installation destinée à la fabrication d'objets en métal (Le Robert, s.d.a). Il opère donc un rapprochement entre les laboratoires où on manipule des entités biologiques (des génomes) et une installation destinée à la production d'objets à partir d'une matière première (le métal). Dans les discours publicitaires, les entreprises semblent également détenir tous les aspects d'une industrie employant des procédés efficaces et sophistiqués :

Designing the best organisms requires a different sort of factory, one where the best tools in automation, analytics, and software all work in sync. The Bioworks foundries are automating and scaling the process of organism engineering, allowing engineers to prototype thousands of biological designs. (Ginkgo Bioworks, s.d.g)

Our end-to-end services enable you to engineer and optimize organisms that meet your industrial needs, deploy them at commercial scale, and fine-tune their production for ideal economics. (Ginkgo Bioworks, s.d.d)

Posées comme une matière inerte, les entités manipulées par les biologistes de synthèse semblent pouvoir faire l'objet d'une future exploitation à large échelle. Cette conception ramène aux métaphores machiniques, abordées précédemment, qui imaginent « assembler des segments d'ADN comme on assemble des circuits électroniques ou des blocs Lego » (Malboeuf, La Presse, 2019 86). S'appuyant sur une logique de contrôle, ce type de métaphore pose le vivant comme une entité malléable et passive. Comme toute autre ressource, elle se soumettrait aisément aux manipulations technoscientifiques. Ce rapprochement entre la matière inerte et la vie biologique « [fait] évoluer [les phénomènes vivants] du statut de processus biologiques et d'organismes à celui d'objets techniques et de châssis, supports inertes d'ingénierie » (Aguiton, 2018 : 20). Via son ingénierie, le vivant apparaît comme une matière qu'il sera possible d'exploiter de manière contrôlée et précise.

Il faut observer que c'est après l'intervention des biologistes de synthèse que leurs « matières premières » semblent pouvoir être mises en ressource. Ainsi, une fois (ré-)assemblées, les entités biologiques sont décrites comme de potentiels « matériaux

vivants » (Daninos, Sciences et Avenir, 2022), « produits biologiques » (Ginkgo Bioworks, s.d.a) ou encore « bactério-carburant » (Le Hir, Le Monde, 2010). C'est sous cette forme qu'elles peuvent faire l'objet d'une exploitation économique. À l'image du modèle bioéconomique, la biologie de synthèse annonce convertir la matière première – le vivant – en produits à valeur ajoutée (Hausknost et al., 2017).

« Nous capitalisons sur 4 milliards d'années d'évolution de la vie sur cette planète pour fabriquer des produits que nous utilisons tous : des vêtements, des accessoires. Ce n'est que le premier volet de notre histoire », s'enthousiasme Dan Widmaier, cofondateur de Bolt Threads, en 2009, avec deux amis rencontrés sur les bancs de l'université de San Francisco. « Nous voulons faire de meilleurs matériaux pour un monde meilleur », poursuit ce docteur en biochimie. (Hecketsweiler, Le Monde, 2018 [je souligne])

L'exemple précédent est tiré d'un article du Monde qui présente Bolt Threads, une start-up américaine qui « ambitionne de créer des textiles dérivés de micro-organismes, et non plus du pétrole ou des animaux » (Hecketsweiler, Le Monde, 2018). Les propos rapportés du chercheur-entrepreneur sont éloquentes ; ils affirment générer des profits à partir de la « vie en elle-même ». À partir de la biologie, ici conçue comme un ensemble de ressources, il est annoncé qu'il sera possible d'élaborer une large gamme de produits « pour un monde meilleur ». Dans un tel discours, la volonté d'incorporer le vivant aux circuits économiques néolibéraux apparaît assez clairement.

2.2. Caractère néguentropique, croissance verte et mise en ressource

Avec les expressions métaphoriques précédentes, il ne paraît pas y avoir de différences d'essence entre l'exploitation de la « vie en elle-même » et l'exploitation des matières premières traditionnelles. Pour cette raison, la mise en ressource du vivant peut être imaginée comme une simple substitution des ressources actuellement exploitées dans la production industrielle. En décrivant la biologie de synthèse et le marché économique qu'elle devrait ouvrir, un article du magazine d'information économique Les Echos affirme que :

cette nouvelle biologie ambitionne tout simplement de se substituer à la bonne vieille chimie de papa, polluante et vorace en énergie. Une chimie écologique où les fermenteurs en acier inoxydable remplaceront les vapocraqueurs noirs et fumants. À quand cette révolution ? Pour de nombreux experts, la biologie

de synthèse s'apparente plus à l'informatique qu'à l'industrie lourde et la transition pourrait être très rapide. (Perez, Les Echos, 2011 [je souligne])

Résonnant avec l'imaginaire de la croissance verte, la biologie est présentée comme une ressource qui pourrait remplacer toutes les ressources polluantes actuellement utilisées dans la production industrielle. Cette conception se retrouve plus couramment dans les discours des magazines d'information économique et dans les discours publicitaires. Par exemple, il est possible de constater que, sur le site de Global Bioenergies, le procédé de la « biologie industrielle » (Global Bioenergies, s.d.d) est directement comparé à celui de la pétrochimie. La « biologie industrielle » désigne le procédé par lequel l'entreprise compte produire de l'isobutène à large échelle. Permettant d'obtenir les mêmes produits destinés aux mêmes consommateurs, elle détient toutefois l'avantage d'être « verte » et de réduire de 69% les émissions de CO₂ liées à la production d'isobutène à partir du pétrole (Global Bioenergies, s.d.d). D'autres exemples attestent de la volonté de substituer les ressources polluantes par la biologie, vue positivement en raison de son caractère renouvelable (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010) :

BioAmber [qui a comme objectif de produire de l'acide succinique via un procédé de fermentation] est en train de bâtir une usine à Sarnia, en Ontario, qui devrait entrer en fonction en 2015. D'ici 2022, trois autres usines devraient être construites. « On commence par les produits qui sont les plus faciles à fabriquer et qui offrent les meilleurs avantages de coûts, explique l'entrepreneur. *Au courant des 50 prochaines années, c'est 30, 40, voire 50 % de l'industrie de la pétrochimie qui sera remplacée par la biologie.* » (Brault, Les Affaires, 2014 [je souligne])

Grâce à une matière première biosourcée et biodégradable faite à partir de bactéries marines cultivables à l'infini en laboratoire, nous réduisons la consommation de ressources limitées et la pollution engendrée par leur extraction, transformation et exportation. (Glowee, s.d.b [je souligne])

Global Bioenergies, la start-up qu'il [Marc Delcourt] a fondée en 2008 et qui est cotée en Bourse, est la seule en Europe, et l'une des rares au monde, à exploiter un filon neuf : la production d'hydrocarbures biologiques. *Il s'agit de remplacer le pétrole d'origine fossile par des ressources végétales renouvelables. De transmuter l'or noir en or vert.* Il y va, est-il convaincu, de « l'avenir de notre civilisation ». (Le Hir, Le Monde, 2014 [je souligne])

La production industrielle de « biomatériaux » de « biocarburants » ou de tout autre produit « biosourcé » (Global Bioenergies, s.d.b ; Lentschner, Le Figaro, 2021 ; Piffaretti, Les

Echos, 2022) promet de « s'affranchir à long terme des matières premières d'origine pétrolière » (Houzelle, Les Echos, 2013). Il est pertinent de constater que les produits annoncés sont en tout point pareils à ceux actuellement produits via les ressources fossiles. Les entités biologiques manipulées par les biologistes sont présentées comme les futurs objets du quotidien : « des plantes qui seraient des antennes WiFi » (Simard, La Presse, 2022), « des robes de cocktail » (Agence France-Presse, Sciences et Avenir, 2022), divers types de cosmétiques (Amyris, s.d.b), « des adhésifs contenant des bactéries bioluminescentes à coller sur les vitrines des magasins » (Georges, Les Echos, 2013). D'ailleurs, les « hydrocarbures biologiques » (Le Hir, Le Monde, 2014) promis par Global Bioenergies sont valorisés précisément pour leur capacité à faire fonctionner les appareils motorisés sans avoir à modifier leur système (Global Bioenergies, s.d.a). Elles constitueraient

de la (*vraie*) essence - et non un substitut concerné par le « blend wall »¹⁵¹ comme l'éthanol. « En associant les molécules d'isobutène non plus deux par deux mais trois par trois, on obtient de l'isododécane, un carburant pouvant alimenter les moteurs d'avion », ajoute le PDG Marc Delcourt, déjà à la recherche d'un partenaire industriel dans l'aérien pour tester son biokérosène. (Verdo, Les Echos, 2015 [je souligne])

Comme les précédents extraits en témoignent implicitement, il n'est pas question de remettre en question le mode de production industrielle et son développement. Il s'agit plutôt de le refonder sur un autre ensemble de ressources, c'est-à-dire la vie biologique. Or, à la différence des autres types de ressources (notamment les ressources pétrolières), celle-ci est renouvelable, c'est-à-dire qu'elle se développe et se reproduit. L'intervention des biologistes de synthèse permettrait donc de « libère[r] les caractéristiques physiques renouvelables de la nature elle-même » (Birch, Levidow et Papaionnou, 2010 : 2899 [ma traduction]). Il est ici pertinent de lier cette caractéristique à la valorisation du caractère néguentropique attribué au vivant au sein de l'imaginaire de la bioéconomie. Comme le posent Birch, Levidow et Papaioannou, les capacités de maintien et de génération du vivant sont directement assimilées à sa durabilité environnementale. Fortement valorisé à l'ère des changements climatiques, ce caractère néguentropique semble garantir la poursuite du

¹⁵¹ Le « blend wall » ou « mur du mélange » renvoie au fait que les voitures actuelles ne supportent qu'une dose de 10 à 15% d'éthanol dans l'essence (Verdo, Les Echos, 2015).

développement industriel. Ainsi, dans les discours analysés, il n'est pas question de transformer le modèle de développement industriel. Loin du discours écologiste qui remet en question les activités industrielles, la mise en ressource du vivant est plutôt valorisée précisément pour les promesses de poursuite de la production industrielle qu'elle porte. Les modes de production et de consommation ne sont donc pas questionnés. À l'inverse, la biologie de synthèse apparaît comme un moyen de poursuivre, voire d'accroître, la production industrielle.

Amyris makes infinite what is finite in the world. Critical molecules. Essential ingredients. And clean, effective products for everyday use. We have a scalable way forward in a world where the supply of natural resources falls short of global demand. (Amyris, s.d.a [je souligne])

Selon George Church, professeur de génétique à l'université Harvard, la biologie synthétique - alliance de biologie et d'ingénierie - sera même capable d'offrir des alternatives nouvelles aux allures de « *révolution industrielle* ». La découverte de l'ADN, la manipulation des gènes et leur typologie ont été les éléments déclencheurs de ces avancées qui promettent aujourd'hui *la création et la duplication de tout ce qui nous entoure*, ou presque. (Hallaoui, Le Monde, 2017 [je souligne])

En somme, à l'heure de « la construction de l'ère post-pétrolière » (Houzelle, Les Echos, 2012), la biologie de synthèse représente une solution technoscientifique qui concilie le mode de développement industriel et limites écologiques à l'exploitation des ressources. Cette promesse s'appuie sur une assimilation de la « vie en elle-même » à une matière première. Celle-ci résonne à la volonté de mettre en ressource le vivant véhiculée par l'imaginaire de la bioéconomie. À travers son ingénierie, le vivant devient une marchandise qui pourrait entrer dans les marchés économiques néolibéraux. Rendue possible par l'industrie des brevets et une logique spéculative, cette volonté s'appuie sur l'idée que le vivant est une matière première au même titre que le reste des ressources qui entrent dans les circuits économiques contemporains. Or, contrairement aux ressources actuellement utilisées, sa capacité à se développer et à se reproduire promet une croissance économique illimitée. En ce sens, elle s'inscrit ainsi dans la dynamique de la croissance verte qui vise à « étendre [...] le domaine de l'instrumentalisation et de la réification à de nouveaux et de nouvelles dimensions de la nature » (Tordjman, 2021 : 6). Au niveau de l'imaginaire sociotechnique, la biologie de synthèse représente une « alternative à l'industrialisme moderne » (Lafontaine, 2014b : 32) qui préserve les modes de production et de

consommation contemporains. En promettant une mise en ressource à large échelle du vivant, la remise en question du développement industriel est évacuée.

3. La mise au travail du vivant dans l’imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse

Lors du retour sociohistorique, j’ai exposé que les métaphores du vivant-machine et du vivant informationnel étaient connectées à la volonté de le mettre en ressource. J’ai soutenu que l’imaginaire bioéconomique posait le vivant comme une ressource constituant le futur socle de la croissance économique. Dans la dernière section, j’ai montré que cette conception du vivant était reconduite par l’imaginaire de la biologie de synthèse. Cependant, un ensemble significatif de métaphores repérées lors de l’analyse de discours montre qu’il serait parfois plus adéquat de parler d’une mise au travail du vivant. Selon cette conception, il est compris en termes productifs, et non pas passifs. S’appuyant sur le caractère néguentropique attribué au vivant, les entités biologiques faisant l’objet d’une ingénierie sont décrites comme une force de travail. Véhiculant encore une fois l’ambition de les contrôler et de les exploiter économiquement, cette métaphore détient toutefois la particularité de mettre de l’avant leurs fonctions productives.

Pour amorcer cette section de l’analyse, j’illustrerai d’abord comment les discours analysés mettent de l’avant des capacités productives qui seraient inhérentes aux entités biologiques. Dans un deuxième temps, je montrerai toutefois que c’est surtout lorsqu’il est le fruit d’une manipulation technoscientifique que le vivant semble pouvoir être mis au travail. J’insisterai aussi sur le fait qu’une partie des discours postulent que la mise au travail du vivant, à travers son ingénierie, constitue une amélioration. Après quoi, je pourrai expliquer que l’idée d’une mise au travail à large échelle de la « vie en elle-même » repose sur la valorisation de son caractère néguentropique. En fin de compte, je montrerai comment cette conception du vivant s’articule à l’imaginaire de la croissance verte.

3.1. Le vivant comme entité productrice

Dans plusieurs discours, la métaphore machinique attribue au vivant des fonctions qui lui seraient inhérentes. En d'autres mots, les entités biologiques, préalablement à toute intervention, sont décrites selon leurs capacités productives. L'analyse de discours a fait ressortir un vaste ensemble de métaphores posant la biologie en termes de fonctions et de capacités qui peuvent être mises à profit. Il faut toutefois noter qu'il ne s'agit pas ici d'expressions désignant une fonction qui assure l'organisation, le développement ou la reproduction d'un organisme. Lors de l'analyse, j'ai plutôt relevé les fonctions dont la visée est extérieure à l'organisme. Celles-ci renvoient à la conception mécaniciste dont le propre est d'attribuer au vivant une finalité qui lui est extrinsèque (Nicholson, 2013). Selon Nicholson, c'est la confusion principale induite par la conception mécaniciste¹⁵². Comme il l'explique, les parties internes de l'organisme ont une fonction qui assure son existence. Quant à elle, en plus des fonctions de ses parties internes, la machine détient une fonction extrinsèque « puisque le bénéficiaire de son action est un agent externe » (Nicholson, 2013 : 671 [ma traduction]). Reconduisant l'inadéquation centrale de la métaphore du vivant-machine, les discours analysés véhiculent l'idée que les organismes vivants détiennent des fonctions qui leur sont extérieures. Comme je l'illustrerai, cette conception est fortement répandue et elle fait l'objet de plusieurs déclinaisons.

Tout d'abord, avant même sa manipulation technoscientifique, le vivant semble d'emblée détenir un ensemble de capacités pouvant être mises à profit par les biologistes de synthèse. « Nous devons observer comment la nature *procède* afin de pouvoir imiter les *fonctions qu'elle emploie* » (Rowe-Pirra, La Recherche, 2020 [je souligne]), rapporte une chercheuse présentant le projet d'élaborer une cellule synthétique. Les entités vivantes sont ainsi caractérisées par les visées opérationnelles vers lesquelles elles seraient naturellement orientées. De façon plus explicite, le discours publicitaire de Ginkgo Bioworks traite les cellules comme des outils dont peuvent tirer parti les biologistes de synthèse :

The billions-year-old *tools* of cells – enzymes that cut, copy, and paste sequences of DNA code – are being *leveraged* by humans to read, write, and edit DNA in the lab. (Ginkgo Bioworks, s.d.e [je souligne])

¹⁵² Pour une explication en détails, voir l'article « Organisms \neq Machines » (Nicholson, 2013).

De manière similaire, selon la présentation qu'en font certains discours, la biologie de synthèse « utilise les capacités du vivant » (Fréchin, Les Echos, 2019). À cet égard, l'organisme est parfois carrément décrit comme une « usine », mettant ainsi l'emphase sur son caractère productif.

In biological engineering, *living organisms are the factories* that build new products. (Ginkgo Bioworks s.d.g [je souligne])

Au côté de Craig Venter, il y a, depuis toujours, son aîné le prix Nobel Hamilton Smith. Microbiologiste, il est fasciné par *l'usine biologique que constituent les bactéries, avec leur génome si manipulable* : ne confie-t-on pas à des colibacilles dotés d'un gène humain, la production ad libitum de l'insuline humaine ? (Bensimon, Libération, 2010 [je souligne])

Dans ces deux exemples, il est intéressant de noter que la métaphore de l'usine n'est pas utilisée pour caractériser la cellule, comme dans les exemples cités dans la première section de ce chapitre. Plutôt, c'est l'organisme entier qui constituerait une usine. Selon cette expression métaphorique, il serait à l'image d'un établissement compartimenté en plusieurs unités spécialisées et orientées vers la fabrication d'un produit donné (Le Robert, s.d.b ; Nicholson, 2019). Ces unités de production étant constituées de diverses machines, la représentation machinique est encore ici influente. La métaphore de l'usine a toutefois la particularité de mettre au premier plan la finalité productive du vivant. Étant décrit comme une usine, il semble naturellement être orienté vers la production. En quelque sorte, ce type de métaphores naturalise la volonté de faire passer les entités biologiques dans la production industrielle.

Dans son analyse ethnographique d'un laboratoire de biologie de synthèse, Sophia Roosth a émis l'hypothèse que « la comparaison des microbes à des usines [constitue] une extension d'une comparaison implicite des organismes à des travailleurs » (Roosth, 2017 : 121 [ma traduction]). Dans l'analyse des discours, plusieurs métaphores attestent de cette conception. Comme je le développerai, il semble surtout que ce sont les entités ayant fait l'objet d'une manipulation technoscientifique qui sont exprimées en termes de force de travail. Avant de passer à cette partie de l'analyse, il faut toutefois mettre en relief un autre type de métaphore. Faisant allusion aux fonctions inhérentes que posséderaient vivant, il s'agit d'expressions qui l'assimilent à une « puissance ».

3.2. Le vivant en tant que puissance dans les discours publicitaires

Dans l'ensemble des discours publicitaires, les fonctions qui seraient inhérentes au vivant sont formulées en termes de « force » et de « puissance » (Amyris, s.d.b ; Ginkgo Bioworks, s.d.f ; Ginkgo Bioworks, 2022 : 13 ; Glowee, s.d.b). Avec ce type de métaphores, la biologie est présentée comme une entité détenant des « pouvoirs » (Ginkgo Bioworks, s.d.f ; Glowee, s.d.e) qui frôlent la « magie ». Par exemple, Ginkgo Bioworks affirme : « Nature offers *tantalizing* examples of the *magical properties* of biology : self-assembly, self-repair, self-replication, and more » (Ginkgo Bioworks s.d.h [je souligne]). Au sein des discours publicitaires, cette conception du vivant est systématiquement vue de manière positive. De surcroît, les métaphores qui lui sont reliées servent principalement à mettre de l'avant une capacité du vivant qui pourrait être mise à profit par l'entreprise. Pour développer « la magie de la bioluminescence » (Glowee, s.d.d), la start-up Glowee affirme s'appuyer sur :

Une source d'inspiration inépuisable : la nature.

En étant inspirée par les 3.8 milliards d'années de recherche et développement réalisés par la nature, Sandra apporte une vision toujours en rupture mais surtout très optimiste de la mutation des modèles énergétiques de demain. (Glowee, s.d.d [je souligne])

Rappelons que la « recherche et développement » (R&D) est une activité stratégique qui consiste à acquérir de nouvelles connaissances ayant une utilité instrumentale, souvent commerciale¹⁵³ (Bonneuil et Pestre, 2015 ; Gaudillière, 2015). En assimilant l'évolution à la R&D, la start-up lui assigne un caractère utilitaire qui lui serait inhérent. Le processus même de l'évolution semble être orienté vers une fin instrumentale. Vantant elle aussi la puissance de la biologie, Ginkgo Bioworks revient sur une des citations que j'ai mentionnée plus haut :

We have previously called biology « the most powerful manufacturing technology on the planet », but it is incorrect to call biology a technology. Technologies are invented by humans. We didn't invent biology—biology invented us.

¹⁵³ Alors que la R&D a été fortement liée aux programmes étatiques militaires au XXe siècle, elle a été progressivement externalisée. Favorisé par l'ère néolibérale, la R&D est passée dans les mains des industriels et des start-up (Voir Gaudillière, 2015 ainsi que Bonneuil et Pestre, 2015).

If you compare biology to our human-engineered technologies, our technologies come up laughably short. Biology grows, building itself with no need for factories. Biology repairs itself, healing wounds and illness. If you look at it under a microscope, its atomic structures put our most precise construction techniques, like semiconductor manufacturing, to shame. To top it off, biological materials are perfectly recyclable. And most importantly, biology self-replicates—it is alive.

To be fair, humans have only spent about ten thousand years developing technologies. Biology has had a 4 billion year head-start on us. Humans, however, have recently invented two very important technologies—reading and writing DNA. [...] At Ginkgo we are unifying these tools into a horizontal platform for programming cells across organisms. We make this platform available to customers who want to program cells for applications in food, medicine, cosmetics, agriculture, materials, or any other market. We believe that biology can impact all industries that produce physical goods, because *biology makes stuff, and it evolves to solve new problems*. (Ginkgo Bioworks, s.d.j [je souligne])

Ici, le discours de Ginkgo Bioworks montre avec éloquence la valeur qu'elle octroie au vivant. D'un côté, l'entreprise semble se distancier des représentations machiniques et informationnelles en reconnaissant que la biologie ne se comporte pas comme une technologie faite par l'humain. Or, d'un autre côté, le vivant y est, malgré tout, ramené à la machine. En étant mis sur le même continuum que les technologies humaines, il semble n'y avoir qu'une différence de degrés entre la machine et le vivant. Comme l'avance la citation, la biologie a une « avance de 4 milliards d'années » sur nos technologies. Ainsi, le vivant semble détenir, en version plus sophistiquée, les mêmes caractéristiques que la machine. De plus, un peu comme dans l'extrait de Glowee, la finalité instrumentale extrinsèque au vivant est naturalisée ; il « évolue pour résoudre des nouveaux problèmes ». Ainsi, si la biologie n'est pas une technologie créée par l'humain, il n'en demeure pas moins qu'elle peut être instrumentalisée par l'humain. En reprenant le lexique informationnel, la citation implique que les capacités de « lire » et d'« écrire » l'ADN permettent désormais aux biologistes de synthèse d'exploiter les capacités du vivant.

En somme, la représentation du vivant comme une entité « puissante » est compatible avec les métaphores machiniques et informationnelles. Comme le montrent les métaphores vues dans les dernières pages, la « force de la nature » (Glowee, s.d.b) ne remet pas en question son contrôle par les biologistes de synthèse. Dans les sections qui suivent,

je démontrerai que c'est à travers l'ingénierie du vivant que ses capacités paraissent pouvoir être mises à profit. En relevant le langage métaphorique employé dans les discours publicitaires et médiatiques, je montrerai que les promesses de la biologie de synthèse sont corrélées à l'ambition de mettre au travail les entités biologiques.

3.3. La mise au travail du vivant à travers son ingénierie

Dans les deux sections qui précèdent, j'ai exposé que les entités biologiques semblaient dotées de capacités productives qui leur seraient inhérentes. Or, il convient d'insister sur le fait que ce sont surtout les entités ayant fait l'objet d'une manipulation qui sont assimilées à une force de travail pouvant être mise à profit. Par exemple, dans les pages plus haut, j'ai montré que l'organisme entier (n'ayant pas fait l'objet d'une ingénierie) était parfois assimilé à une usine. En revanche, cette métaphore concerne beaucoup plus fréquemment les organismes manipulés par les biologistes de synthèse, que ce soit dans les discours médiatiques ou publicitaires. En l'occurrence, c'est *a posteriori* de l'intervention des chercheurs que le vivant est conçu comme une « bio-usine » (Mansuy, Le Figaro, 2012 ; Rowe-Pirra, La Recherche, 2020).

[Craig Venter] vient d'atteindre l'objectif qu'il s'était fixé il y a une quinzaine d'années : construire un génome entier et s'en servir pour prendre les commandes d'un être vivant. A plus long terme, il rêve de cultiver des colonies de bactéries artificielles *transformées en usines biochimiques* capables, par exemple, de produire des bio-carburants. (Morin, Le Monde, 2010a [je souligne])

We genetically modify microorganisms, primarily yeast, and use them as living factories in established fermentation processes to convert plant-sourced sugars into potentially thousands of target molecules. (Amyris, s.d.d [je souligne])

Selon le biologiste du CNRS François Képès, cette « ingénierie rationnelle du vivant » doit permettre de construire de manière standardisée de « nouveaux systèmes inspirés par la biologie ou fondés sur ses composants ». En d'autres termes, *il s'agit d'inventer des micro-usines biologiques produisant à la demande* des hydrocarbures, des molécules chimiques, des protéines alimentaires, voire des médicaments. (Perez, Les Echos, 2012 [je souligne])

Dans ces cas, l'ingénierie des entités biologiques promet de les transformer en unités de production efficaces – de carburants, de composés chimiques, de médicaments, de produits agroalimentaires, etc. Ces expressions métaphoriques laissent transparaître le fait que

l'ingénierie du vivant est corrélée à sa mise au travail. Aux côtés des métaphores de l'usine, on retrouve un lexique prolifique relié à l'univers de la production. Surtout, l'idée véhiculée est qu'il serait possible de faire accomplir des tâches prédéterminées au vivant, et ce, de manière efficace.

[le génome de *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0] [comprend] à la fois les gènes nécessaires au fonctionnement de la cellule, et d'autres gènes soigneusement choisis par l'homme pour faire réaliser à sa créature des *tâches précises et inédites*.

Parmi ces *tâches* figure la production de molécules jugées utiles - en particulier des médicaments ou des biocarburants. Mais ce n'est pas tout. La « biologie de synthèse » ambitionne aussi de concevoir des cellules *accomplissant telle ou telle succession de tâches* en fonction de leur environnement. (Klingler, La Recherche, 2010b [je souligne])

les scientifiques pourraient *créer des bactéries synthétiques « sur mesure » « accros »* aux dérivés du pétrole pour nettoyer une marée noire, permettre à d'autres de produire des hydrocarbures utilisables comme biocarburant. (Jalinière, Sciences et Avenir, 2017 [je souligne])

« Philippe Marlière a inventé le moyen de modifier des bactéries, de sorte qu'elles transforment le glucose en isobutène », explique [Marc Delcourt]. « Une innovation de rupture : jusqu'alors, il semblait impossible *d'enseigner à des bactéries comment produire des hydrocarbures*. Il a imaginé d'intégrer dans l'ADN des bactéries une voie métabolique originale, constituée d'une succession d'enzymes qui transforment, en plusieurs étapes, les ressources renouvelables en isobutène. » (Feitz, Les Echos, 2016 [je souligne])

Deux phénomènes transparissent de tels exemples. D'une part, les capacités productives du vivant sont mises en relief. Il est conçu comme une entité active qui est capable d'accomplir des tâches. Les processus du vivant (comme la production d'une molécule) sont ainsi conçus comme la réalisation d'une tâche, c'est-à-dire un « travail, ouvrage à faire dans un temps déterminé et à certaines conditions » (Larousse, s.d.f). Les organismes modifiés sont ainsi compris dans les termes d'une force de travail. D'autre part, ils apparaissent comme des entités qui, tout comme la machine, détiennent une finalité extérieure qui leur est attribuée par l'humain. En fait, il semble qu'ils puissent seulement être mis au travail via leur ingénierie. Pour le dire autrement, les organismes doivent faire l'objet d'un contrôle pour que leurs capacités productives soient exploitées. Comme le pose un article d'un média généraliste, « Des bactéries pourraient être *asservies pour produire* de l'énergie, des médicaments, absorber du CO₂ » (Le Monde, 2010 [je souligne]). Dans

les termes d'un magazine d'information économique qui traite de l'entreprise Global Bioenergies, la « star des labos [la bactérie *Escherichia coli*] a été génétiquement reprogrammée *afin de la forcer à transformer* le glucose en isobutène, ce qu'elle ne fait pas naturellement » (Verdo, Les Echos, 2015 [je souligne]). Si le travail réalisé par des entités biologiques est mis de l'avant, elles doivent avoir fait l'objet d'une manipulation technoscientifique. Subséquemment, elles semblent pouvoir être mise à profit dans plusieurs secteurs clés : santé, alimentation, énergie, environnement, l'agriculture, etc. (Jalinière, Sciences et Avenir, 2017 ; Mariette, Le Devoir, 2018).

Avec les expressions métaphoriques que je viens de survoler, la « vie en elle-même » semble effectuer un travail. Plusieurs autres expressions en témoignent. Par exemple, en présentant un composé chimique qu'elle a mis au point avec la biologie de synthèse, Amyris le décrit comme étant « 100% biogenic (produced by nature) » (Amyris, s.d.c). On parle également d'« applications dites “made by biology” » (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023) ou encore du fait que « la vie produit des objets du quotidien » (Le Figaro, 2013). Ici, le travail des chercheurs et des techniciens est complètement effacé. À la place, c'est le travail effectué par le vivant qui est mis en évidence. Il apparaît ainsi comme une entité qui participe activement à la production industrielle. C'est ce que montre explicitement un article du magazine économique Les Affaires :

Sur le plan industriel, la biologie synthétique sert essentiellement à *confier la production* de molécules d'intérêt à des microorganismes comme des levures ou des bactéries. Ce qui se fait aujourd'hui n'est toutefois que le début timide d'une révolution qui bouleversera plusieurs industries. (Brault, Les Affaires, 2014 [je souligne])

Une distance est parfois marquée comme lorsqu'on écrit « des microorganismes censés fabriquer en continu des hydrocarbures » (Perez, Les Echos, 2012), mais, globalement, le caractère productif du vivant n'est pas remis en question ou contesté. L'assimilation de l'organisme à une force de travail a aussi été constatée par l'anthropologue Stefan Helmreich dans son analyse d'une entreprise de biotechnologie marine. Il explique que les organismes sont conçus comme des « unités de travail [laboring units] qui pourraient être démontées puis être remises ensemble pour de nouvelles tâches » (Helmreich, 2007 : 294 [ma traduction]). Dans les discours médiatiques et publicitaires, les tâches annoncées sont

hautement variées. Malgré la faible quantité d'applications développées, « les possibilités semblent illimitées : méduses modifiées qui traquent et détruisent des polluants; levures qui produisent des bioplastiques et des carburants "verts" ; virus programmés pour tuer des cancers... » (Leblanc, Québec Science, 2020). Déjà, en 2010, lorsque Venter a mis au point la première cellule synthétique, on imaginait élaborer un organisme pouvant accomplir toutes les fonctions imaginables. Dans *Le Monde*, *Mycoplasma laboratorium*, était décrite comme une « hypothétique machine à tout faire des biotechnologies » (Morin, *Le Monde*, 2010a). De façon similaire, malgré la rareté d'applications concrètes, un article médiatique affirme que « Les applications sont infinies » (De Grandi, *Les Echos*, 2011). Enfin, le discours publicitaire de Ginkgo Bioworks demande à son public « What if you could grow anything? » (Ginkgo Bioworks, 2023 s.d.b) Caractérisées par une logique promissoire, les perspectives envisagées grâce à la mise au travail des processus biologiques sont illimitées.

3.4. La mise au travail du vivant à travers son amélioration

Avant de présenter comment la volonté de mettre au travail le vivant est connectée à l'imaginaire de la croissance verte et l'imaginaire bioéconomique, une dernière tendance relevée dans les discours à l'étude doit être mentionnée. Dans les documents médiatiques et publicitaires, j'ai constaté que la mise au travail du vivant, à travers son ingénierie, était souvent perçue comme une amélioration. Cette dernière passe parfois dans la définition même de la biologie de synthèse :

[La biologie de synthèse] vise à *améliorer les systèmes biologiques existants*, mais aussi à en concevoir et en fabriquer de nouveaux, artificiels, pour aboutir à des applications industrielles. (Ducruet, *Les Echos*, 2010 [je souligne])

Il est intéressant de remarquer ici l'inflexion par rapport à la définition officielle de la biologie de synthèse qui a été citée au début de ce mémoire¹⁵⁴. En fait, il y a un passage de l'expression « re-design » à l'expression « améliorer ». Dans d'autres segments, l'approche des biologistes de synthèse paraît garantir la création d'entités biologiques qui accompliraient leurs fonctions de manière plus « logique » et « rationnelle » que celle qui n'ont pas fait l'objet d'une manipulation technoscientifique. Il apparaît ainsi que

¹⁵⁴ « La biologie de synthèse est le *design* et la construction d'entités biologiques nouvelles comme des enzymes, des circuits génétiques, des cellules ou le *re-design* d'entités biologiques déjà existantes »¹⁵⁴ (EBRC, s.d. [ma traduction]).

l'ingénierie du vivant permet d'exploiter son plein « potentiel » (Science & Vie, 2013c ; Simard, La Presse, 2022). Expliquant son projet visant à réduire le génome d'une bactérie, un chercheur affirme :

on pourra alors agencer les gènes de façon plus logique. L'évolution essaie de trouver des solutions qui fonctionnent, mais qui ne sont pas nécessairement logiques. On pourra regrouper en modules les gènes qui travaillent à une même fonction. (Gravel, Le Devoir, 2014)

Dans la même optique, au sein de plusieurs discours, les entités que la biologie de synthèse cherche à élaborer sont décrites avec les termes : « optimisé » (Lacamp, Sciences et Avenir, 2020), « plus efficaces [...] que n'importe quelle espèce » (Lelievre, Les Echos, 2022), « amélioré » (Le Hir, Le Monde, 2010), « plus performantes » (Glowee, s.d.b).

la manipulation génétique de certaines algues permet *d'améliorer leur rendement d'utilisation de l'énergie solaire et de leur faire produire une grande quantité de molécules utilisables comme biocarburant renouvelable*. Plusieurs sociétés comme Solazyme, Exxon Mobil et Synthetic Genomics aux États-Unis, ont récemment investi près de 2 milliards de dollars dans ce type de projet. De telles algues pourraient produire jusqu'à 60 000 litres de biocarburant par an et par hectare. (Mansuy, Le Figaro, 2012 [je souligne])

« Notre objectif est de créer des souches *plus productives* », explique Joshua Hoffman [le fondateur de la start-up Zymergen] en citant l'exemple d'un client – un grand groupe agroalimentaire dont l'identité n'a pas été dévoilée – qui a, ainsi, multiplié par 2,5 la marge réalisée sur un de ses produits. (Hecketsweiler, Le Monde 2017 [je souligne])

- Bactéries « athlètes »

LanzaTech compare sa technologie à la conception de bière: au lieu de faire fermenter du sucre, la matière première est ici des gaz à effet de serre, et le produit final de l'éthanol. La bactérie commercialisée a été identifiée il y a des décennies dans des excréments de lapins. L'entreprise l'a placée dans des conditions industrielles *pour optimiser ses performances*, « *un peu comme on entraîne un athlète* », compare Michael Köpke. (Agence France-Presse, Sciences et Avenir, 2022 [je souligne])

Considérant l'ensemble des citations ci-haut, le critère pour juger de l'amélioration du vivant est relativement flou et changeant. En effet, l'optimisation semble se porter sur plusieurs aspects : capacités de fermentation, utilisation d'énergie, profits économiques, production de molécules. Globalement, il apparaît toutefois que sa mise au travail est perçue comme une « amélioration ». De la sorte, la biologie de synthèse est valorisée pour

son ambition de « fabriquer des formes de vies qui accomplissent une tâche particulière de manière plus efficace et optimisée » (Tamminen et Deibel, 2019 : 3 [ma traduction]).

3.5. Caractère néguentropique, croissance verte et mise au travail

En bref, dans les dernières pages, j'ai expliqué que le vivant est compris comme une entité qui prend part à la production dans l'imaginaire de la biologie de synthèse. Plutôt qu'une matière première inerte, il est alors dépeint comme étant actif par le travail qu'il accomplit. Également, il est posé comme une entité qu'il est possible d'optimiser via sa manipulation technoscientifique. Comme il a été possible de le remarquer dans l'ensemble des extraits cités dans cette partie, la mise de l'avant des capacités productives du vivant modifié résonne avec la valorisation de son caractère néguentropique théorisée par Lafontaine et Cooper (Lafontaine, 2014a ; Cooper, 2008). En effet, le processus productif de la « vie en elle-même » est au cœur de ce type de représentation. C'est pourquoi il semble justifié de faire un lien entre la valorisation de la capacité du vivant à échapper à l'entropie et de telles expressions :

Manuel Théry, chercheur au CEA à l'Institut Pierre-Gilles de Gennes (IPGG), rêve, lui, de *matériaux vivants capables de s'autoréparer, de s'adapter aux contraintes, de se recycler*. (Larousserie et Morin, Le Monde, 2023 [je souligne])

des milliards de minuscules bactéries s'empiffrent de gaz, qu'elles ingèrent pour le recycler. [...] Puisque les bactéries peuvent ingérer du CO₂, du monoxyde de carbone ou de l'hydrogène, le processus est très « *flexible* », *davantage que « n'importe quelle autre technologie de conversion de gaz. »*¹⁵⁵ (Agence France-Presse, Sciences et Avenir, 2022 [je souligne])

Faire travailler le vivant.

Ils travaillent nuit et jour, ne gaspillent pas leur énergie, polluent peu et réalisent grâce à leurs enzymes des réactions chimiques complexes : les microorganismes ont tout pour plaire à l'industrie chimique. (Science & Vie, 2013c [je souligne])

¹⁵⁵ L'article traite ici d'un projet qui consiste à modifier des bactéries afin qu'elles transforment du gaz à effet de serre en éthanol. Comme l'explique l'article, ce type d'alcool est utilisé pour fabriquer plusieurs produits du quotidien (Agence France-Presse, Sciences et Avenir, 2022).

Ginkgo Bioworks affirme pouvoir « develop microorganisms tant can *thrive in challenging environments* including power plants and industrial facilities. » (Ginkgo Bioworks, s.d.c [je souligne])

L'idée d'une mise au travail du vivant plonge ici encore plus profondément dans la valorisation de ses capacités néguentropiques qu'avec l'idée de sa mise en ressource. Plus qu'une ressource renouvelable, la « résistance à la dégradation » (Fox Keller, 1999 : 94) fait du vivant une force de travail idéale. En le posant comme une entité « flexible » qui « travaille », « s'adapte aux contraintes », « prospère dans des environnements difficiles » « ne gaspille pas », « pollue peu » et « se recycle », le vivant semble détenir toutes les qualités recherchées de l'ère post-fordiste. Effectivement, ce sont des capacités néguentropiques valorisées au sein de l'imaginaire de la bioéconomie depuis le tournant néolibéral et le contexte de l'épuisement des ressources pétrolières. Ces propriétés productives sont présentées comme étant adaptées aux conditions de la production industrielle tout en dépassant les limites écologiques qui s'y posent. C'est encore le discours de Ginkgo Bioworks qui offre l'exemple le plus éloquent de la promesse de mettre le vivant au travail afin de dynamiser la croissance économique industrielle.

The era of Moore's Law is coming to a close, but *biology's exponentials are just beginning*. [...] We believe that *biology can impact all industries that produce physical goods, because biology makes stuff, and it evolves to solve new problems*. Today the world faces many problems, and we hope that biology can help us meet those challenges. (Ginkgo Bioworks, s.d.j [je souligne])

Reconduisant la naturalisation du progrès technoscientifique de la loi de Moore, le discours de Ginkgo Bioworks affirme que la biologie dynamisera la croissance économique. La capacité du vivant à résister à l'entropie est ici directement connectée à l'ambition de dynamiser le développement industriel. L'ensemble de la biologie est alors imaginé comme « une force de travail accumulée, dont les produits peuvent être exploités pour créer des futurs productifs »¹⁵⁶ (Helmreich, 2007 : 294 [ma traduction]). Il n'est donc pas question de moins produire ou de moins consommer et, plus largement, de transformer le modèle de développement industriel. Comme le rappelle elle-même l'entreprise, l'objectif est de continuer à produire des « produits chimiques, des matériaux et des combustibles »

¹⁵⁶ « accumulated labor power, the products of which can be harnessed to create productive futures » (Helmreich, 2007 : 294).

(Ginkgo Bioworks, 2022 : 17). Il s'agit alors de produire par d'autres moyens, en misant sur une force de travail jusque-là inexploitée, c'est-à-dire la vie biologique.

4. Conclusion préliminaire : le vivant entre mise en ressource et mise au travail

Dans ce chapitre, j'ai d'abord montré que l'imaginaire de la biologie de synthèse reconduisait les métaphores du vivant-machine et du vivant informationnel. Dans les discours analysés, il est apparu que ces métaphores étaient surtout connectées à la volonté d'appliquer une logique de contrôle radical sur les processus biologiques. Posé comme une machine constituée de pièces isolables ou comme un ordinateur reprogrammable, le vivant semble se soumettre entièrement aux manipulations des biologistes de synthèse. La mise de l'avant de cette logique de contrôle nourrit à la fois l'idée d'une mise en ressource et d'une mise au travail du vivant. Dans le premier cas, le vivant est posé dans les termes d'une matière première inerte et malléable. Comme toute autre ressource, il pourrait entrer dans les chaînes de production et, ainsi, garantir la croissance économique industrielle. Dans cet imaginaire, le vivant ayant fait l'objet d'une ingénierie permettrait de remplacer les ressources épuisées et/ou polluantes actuellement utilisées sans changer les chaînes de production industrielle. Mettant de l'avant son caractère néguentropique, les entités biologiques sont présentées comme étant durables du fait qu'elles peuvent se développer et se reproduire (Birch, Levidow, Papaioannou, 2010). Dans le deuxième cas, l'imaginaire de la biologie de synthèse promet plutôt une mise au travail de la « vie en elle-même ». Établissant une assimilation à une usine, une puissance ou une force de travail, ce type de métaphore met l'accent sur ses capacités productrices. Ici, le caractère néguentropique de la biologie est déterminant ; sa capacité à évoluer, à s'adapter et à produire certains composés semble rendre possible un domaine d'applications illimité. À travers l'ingénierie du vivant – parfois conçue comme une amélioration – l'imaginaire de la biologie de synthèse annonce mettre à profit une force productrice jusque-là inexploitée. Cet imaginaire projette ainsi dépasser les limites entropiques qui guettent le modèle industriel, tout en laissant intacts les modes de production et de consommation.

À la lumière de cette analyse empirique, il semble judicieux de contraster – et non pas d’opposer – l’idée d’une mise au travail du vivant et celle de sa mise en ressource. Comme je l’avais posé en m’appuyant sur certains auteurs lors du chapitre II, la mise en ressource du vivant peut être comprise comme une exploitation des processus de la « vie en elle-même » qui permettrait de générer une plus-value économique (Cooper, 2008 ; Lafontaine, 2014a ; Waldby, 2002). « La "vitalité" viendrait ainsi s’ajouter au travail et au capital dans la production de la plus-value » (Thomas, 2015 : 16). L’idée d’un travail accompli par le vivant lui-même remanie légèrement cette dernière affirmation. La vitalité ne viendrait pas « s’ajouter » ; elle fait partie intégrante du travail puisqu’elle devient elle-même entité productive. Définissant le vivant comme un entité active au sein de la production, cette conception naturalise le projet de l’intégrer à la poursuite du développement industriel.

Sur cette base, il est possible d’avancer que, tout comme la biologie de synthèse radicalise le projet biotechnologique de manipuler le vivant, ce domaine radicalise aussi son exploitation. Autrement dit, il se peut que la radicalité du projet de fabriquer des formes de vie inédites permette également d’imaginer un projet tout aussi radical, soit celui de leur faire réaliser n’importe quel travail via une « succession de tâches » précises et prédéterminées. Comme j’en ai fait l’hypothèse, l’imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse, étant imbriqué à l’imaginaire de la croissance verte et de la bioéconomie, soutient la volonté d’englober les entités biologiques dans la production industrielle (Tordjman, 2021). Le projet d’en exploiter les capacités productives s’accorde lui aussi à cette volonté. Toujours dans le but de poursuivre le même modèle de développement, la biologie de synthèse permettrait d’exploiter tout le potentiel productif du domaine de la biologie. Tout compte fait, l’idée d’un « travail » accompli par le vivant ne s’inscrit pas en porte-à-faux avec l’imaginaire bioéconomique ; elle participe plutôt à son extension.

Conclusion

J'ai commencé ce mémoire en évoquant les bouleversements écologiques résultant du modèle de développement industriel. Dans ce contexte, la biologie de synthèse, en tant que solution technoscientifique à la crise, est posée comme un « futur désirable » (Jasanoff, 2015 : 4) dans l'imaginaire collectif contemporain. L'objectif global de ce mémoire a été de questionner cet imaginaire afin d'en saisir les ressorts politiques, économiques et sociaux. Plus que tout, c'est la question du rapport au vivant qu'il véhiculait qui m'a intéressée.

Comme je l'ai établi dans le premier chapitre, la biologie de synthèse radicalise la logique d'ingénierie du vivant portée par le génie génétique. Ces deux domaines possèdent des racines communes soit : les transformations épistémologiques amenées par le régime technoscientifique ainsi que le projet de mettre le vivant en ressource porté par le modèle bioéconomique. Si ces dimensions de la biologie de synthèse sont largement explorées dans la littérature en sociologie des sciences et des technologies, ses promesses écologiques et le rapport au vivant qu'elles sous-tendent restent insuffisamment pris en compte. Pour développer cette analyse, j'ai donc d'abord détaillé le cadre d'analyse utilisé, soit l'imaginaire sociotechnique vu sous l'angle des métaphores du vivant.

Avec le chapitre II, ma première entreprise a été de montrer que pour retracer l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse, il fallait d'abord explorer les imaginaires du progrès technoscientifique, de la bioéconomie et de la croissance verte. L'imaginaire de la biologie de synthèse entre en résonance avec ceux-ci. De ce fait, j'ai pu constater qu'il véhiculait le projet de poursuivre la croissance économique industrielle via l'exploitation technoscientifique du vivant tout en évacuant les limites écologiques qui se posent à ce modèle de développement. Il fallait ensuite reconstituer les métaphores ayant nourri cette double promesse. En s'appuyant sur les travaux de Daniel J. Nicholson, le retour sociohistorique a montré que le projet d'appliquer une logique de contrôle au vivant fait écho à la métaphore machinique qui a pris racine vers le XVIIe siècle. Avec la biologie moléculaire et le génie génétique de la seconde moitié du XXe siècle, elle a été réarticulée

et renforcée par la métaphore informationnelle. À ce moment, le lexique informationnel a envahi les sciences du vivant, alimentant ainsi à la fois l'idée d'un contrôle et la valorisation du caractère néguentropique des entités biologiques. Ces conceptions ont été au cœur du développement de l'industrie des biotechnologies à partir des années 1970-80. Durant cette période, les avancées importantes du génie génétique semblaient annoncer que la modification du vivant constituait une source de profits importante. En revanche, il a fallu démontrer que le contexte politico-économique du tournant néolibéral a été une condition de possibilité au développement massif de l'industrie biotechnologique. Ce n'est qu'avec une logique d'investissement hautement spéculative que la mise en ressource du vivant a pu apparaître comme une nouvelle source de profits économiques. En m'appuyant sur les travaux de Marc Audétat, j'ai ainsi montré que le modèle bioéconomique est indissociable de l'économie de la promesse. En fait, la bioéconomie a été formulée, dès ses débuts, comme une double promesse. Elle annonçait pouvoir dynamiser l'économie post-fordiste et dépasser ses limites écologiques – surtout conçues en termes d'épuisement des ressources fossiles. Dans la troisième et dernière partie de ce chapitre, je suis retournée vers le domaine de la biologie de synthèse afin de démontrer qu'elle héritait des représentations du vivant ainsi que de la double promesse de la bioéconomie. Étant donné son projet de fabriquer du vivant de toutes pièces, elle apparaît même radicaliser les métaphores mécaniques et informationnelles. Enfin, j'ai mis en lumière la primauté des visées industrielles dans les développements de la biologie de synthèse. Si ces visées ne se traduisent toujours pas en applications concrètes, les promesses économiques et écologiques permettent une importante mobilisation de ressources autour de ce domaine.

Dans mon chapitre d'analyse, j'ai montré que les métaphores mécaniques et informationnelles étaient reconduites dans les discours analysés. Surtout, elles sont fortement liées à l'idée d'exercer un contrôle précis sur les organismes manipulés. Ainsi, bien que certaines limites au projet de faire l'ingénierie de la biologie sont parfois mentionnées, elles semblent pouvoir être dépassées par un contrôle accru. Une nuance doit toutefois être faite à ce propos. Certaines métaphores différaient des métaphores mécaniques et informationnelles et mettaient principalement de l'avant la complexité de la biologie ainsi que les limites à son contrôle. Leur présence restait toutefois marginale et

ne permet pas d'affirmer que ces conceptions du vivant sont diffusées et stabilisées au sein de l'imaginaire. Après cette partie, j'ai soulevé que les métaphores nourrissent deux types de rapports au vivant. D'une part, en accord avec le modèle bioéconomique développé au chapitre II, elles sont connectées à la promesse de mettre en ressource le vivant à large échelle. En exemplifiant son assimilation à une matière première inerte, j'ai montré qu'il apparaît comme une ressource permettant de poursuivre la production industrielle en la laissant inchangée. La biologie de synthèse est précisément valorisée comme un moyen de remplacer les ressources – surtout fossiles – et de laisser intacte la chaîne de production. La biologie apparaît souvent comme une ressource *de facto* durable environnementalement puisqu'elle est renouvelable. La valorisation du caractère néguentropique du vivant, entendu comme sa capacité de maintien et de génération, est ici au cœur des promesses économiques et écologiques de la biologie de synthèse. D'autre part, j'ai expliqué que les métaphores machiniques et informationnelles entraînent aussi en résonance avec l'ambition de mettre au travail le vivant. Plus spécifiquement, plusieurs discours lui attribuaient des fonctions productives qui lui seraient inhérentes. Cependant, ce sont surtout les entités ayant fait l'objet d'une manipulation qui semblent pouvoir être mises au travail. Reflétant encore une volonté de contrôle, l'ingénierie du vivant – parfois conçue comme une amélioration – garantirait d'exploiter le plein potentiel des organismes. Comme avec l'idée d'une mise en ressource, la valorisation du caractère néguentropique du vivant est au cœur de sa mise au travail. Présenté comme une entité active et flexible qui accomplit des tâches tout en s'adaptant à son environnement, il semble naturel de l'intégrer à la production industrielle. Pour conclure ce chapitre, j'ai mis en parallèle la mise en ressource et la mise au travail du vivant qui traversent toutes deux l'imaginaire sociotechnique de la biologie de synthèse. Dans les deux cas, il s'agit toujours d'instaurer un rapport de contrôle et d'exploitation au vivant. La volonté de le mettre au travail constitue toutefois une radicalisation de son exploitation ; elle promet de mettre à profit l'ensemble des capacités de la vie biologique.

Il n'est sûrement pas anodin que la notion de travail ait été mise de l'avant dans les discours analysés. Il faut se rappeler que le régime néolibéral n'implique pas seulement la recherche de nouvelles ressources permettant de dépasser l'épuisement des ressources

pétrolières. La flexibilisation et la dérégulation des marchés, dont le marché du travail, ont aussi étendu la production à des domaines jusqu'alors hors de la sphère productive. Il est donc possible d'avancer que le projet de mettre au travail la « vie en elle-même », aussi hypothétique soit-il, répond à un désir implicite d'étendre la sphère productive ainsi que d'accroître la productivité.

Si l'on admet toutefois que la recherche et l'extension de la productivité économique a été l'une des plus importantes – si ce n'est la plus importante – causes de la crise écologique, il semble plutôt que la mise au travail du vivant, tout comme sa mise en ressource, ne constitue pas une porte de sortie à la crise actuelle. Bien au contraire, elle semble étendre la même logique qui nous a menés à la destruction généralisée du monde du vivant à laquelle on assiste à ce jour. Plutôt qu'une occasion de trouver des solutions technoscientifiques – que ce soit la biologie de synthèse, la géo-ingénierie, ou autre – il semble que l'époque actuelle impose de repenser drastiquement notre rapport avec le domaine du vivant. L'impact des activités anthropiques a mené à une nouvelle ère, l'Anthropocène, que j'ai brièvement mentionnée au tout début de ce mémoire. En sciences sociales, ce basculement semble être un bon point de départ pour la tâche colossale qui est de repenser notre rapport au vivant. L'Anthropocène fait tomber la barrière, caractéristique de la modernité, entre l'histoire humaine et l'histoire naturelle (Bonneuil et Fressoz, 2013 ; Chakrabarty, 2009).

[L'Anthropocène] signale le retour de la Terre dans un monde que la modernité industrielle occidentale s'était représenté comme flottant en apesanteur au-dessus du socle terrestre. Si notre futur a partie liée avec un basculement géologique de la Terre, alors on ne peut plus croire en une humanité qui ferait seule sa propre histoire [...] il est impossible d'occulter que les relations « sociales » sont truffées de processus biophysiques et que les divers flux de matière et d'énergie qui traversent le système Terre à différentes échelles sont polarisés par des activités humaines socialement structurées. (Bonneuil et Fressoz, 2013 : 47)

Cette perspective, selon les mots de la philosophe de l'environnement Catherine Larrère, nous amène à reconsidérer « le rapport technique que nous avons à la nature » (Larrère, 2015 : 52). La promesse de solutions technoscientifiques à la crise écologique (comme la biologie de synthèse), fondées sur un rapport de contrôle par la technique, ne semble pas nous donner l'occasion de repenser ce rapport. Il y a même une certaine arrogance à

imaginer pouvoir prévoir et contrôler, par des innovations technoscientifiques, les problèmes causés les activités anthropiques tout en poursuivant la trajectoire industrielle (Larrère, 2015). En réalité, ce type de solution ne permet ni d'admettre la part de responsabilité humaine (différenciée) dans l'Anthropocène ni d'adopter une posture plus humble face aux processus terrestres – desquels nous dépendons pour survivre, mais qui ne dépendent pas de nous (Chakrabarty, 2009 ; Larrère, 2015). Pour repenser notre rapport à la vie biologique, il semble donc pertinent de commencer la réflexion en considérant l'humanité en tant qu'espèce biologique plutôt qu'en tant que toute-puissance (Chakrabarty, 2017 ; Larrère, 2018).

Bibliographie

- A. O'Malley, Maureen, Alexander Powell, Jonathan F. Davies et Jane Calvert. 2008. « Knowledge-Making Distinctions in Synthetic Biology ». *BioEssays* 30 (1) : 57-65. <https://doi.org/10.1002/bies.20664>.
- Acevedo-Rocha, Carlos G. 2016. « The Synthetic Nature of Biology ». Dans *Ambivalences of Creating Life : Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*. Sous la direction de Kristin Hagen, Margret Engelhard et Georg Toepfer, 9-53. Cham : Springer.
- Agence France-Presse. 2022. « Une entreprise américaine recycle les gaz des usines en produits du quotidien ». *Sciences et Avenir*, 2 décembre 2022. https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/une-entreprise-americaine-recycle-les-gaz-des-usines-en-produits-du-quotidien_168031.
- Aglietta, Michel et André Orléan. 2002. *La monnaie entre violence et confiance*. Paris : Odile Jacob.
- Aguiton, Sara Angeli. 2018. *La démocratie des chimères. Gouverner la biologie synthétique*. Objets d'histoire. Lormont : Le Bord de l'eau.
- Alfon, Dov, et Denis Olivennes. 2022. « "Libération" résout le financement de son développement ». *Libération*, 26 septembre 2022. https://www.liberation.fr/plus/communiqués/liberation-resoud-le-financement-de-son-developpement-20220926_5DJE6K24SFBHRATFW6X434FNKM/.
- Allen, Garland E. 2005. « Mechanism, Vitalism and Organicism in Late Nineteenth and Twentieth-Century Biology : The Importance of Historical Context ». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36 (2) : 261-283. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.003>.
- Alliance pour les chiffres de la presse et des médias (ACPM). s.d. « Classement diffusion presse quotidienne nationale 2022-2023 ». ACPM. Consulté le 28 novembre 2022. <https://www.acpm.fr/Les-chiffres/Diffusion-Presse/Presse-Payante/Presse-Quotidienne-Nationale>.
- Amyris. 2023. « Amyris Announces CEO Transition and Global Reduction in Force ». *PR Newswire*, 26 juin 2023. <https://www.prnewswire.com/news-releases/amyris-announces-ceo-transition-and-global-reduction-in-force-301862804.html>.

- . s.d.a. « About ». Consulté le 16 décembre 2022. <https://amyris.com/about-us>.
- . s.d.b. « Amyris | Biotechnology Company ». Consulté le 16 décembre 2022. <https://amyris.com/>.
- . s.d.c. « Biosilica™ ». Consulté le 9 janvier 2023. <https://amyris.com/ingredient/biosilica>.
- . s.d.d. « Investor FAQs ». Consulté le 11 janvier 2023. <https://investors.amyris.com/investor-faqs>.
- Audétat, Marc. 2015. « Introduction. Sciences et technologies émergentes : pourquoi tant de promesses? » Dans *Sciences et technologies émergentes: pourquoi tant de promesses?* Sous la direction de Marc Audétat, Gaïa Barazzetti, Gabriel Dorthe, Claude Joseph, Alain Kaufmann et Dominique Vinck, 5-27. Paris : Hermann.
- Balmer, Andrew et Camille Herreman. 2009. « Craig Venter and the Re-programming of Life: How Metaphors Shape and Perform Ethical Discourses in the Media Presentation of Synthetic Biology ». Dans *Communicating Biological Sciences : Ethical and Metaphorical Dimensions*. Sous la direction de Brigitte Nerlich, Richard Elliott et Brendon M. H. Larson, 219-234. Aldershot : Ashgate.
- Balmer, Andrew S., Katie Bulpin et Susan Molyneux-Hodgson. 2016. *Synthetic Biology : A Sociology of Changing Practices*. Londres : Palgrave Macmillan.
- Bardin, Laurence. (1997) 2013. *L'analyse de contenu*. 2e édition, Paris : Presses universitaires de France.
- Bayer. 2023. « Bio Revolution ». <https://www.bayer.com/en/investors/bio-revolution-megatrends>.
- Béal, Vincent. 2016. « La modernisation écologique: Quelle théorie pour quel changement social ? » Dans *Guide des humanités environnementales*. Sous la direction d'Aurélié Choné, Isabelle Hajek et Philippe Hamman, 223-234. Villeneuve d'Ascq : Presses Universitaires du Septentrion.
- Bensaude-Vincent, Bernadette. 2013. « Discipline-Building in Synthetic Biology ». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44 (2) : 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.03.007>.
- . 2009. *Les vertiges de la technoscience*. Paris: La Découverte.

- . 2010. « Splendeur et décadence de la vulgarisation scientifique ». *Questions de communication*, 17 : 19-32. <https://doi.org/10.4000/questionsdecommunication.368>.
- Bensaude-Vincent, Bernadette et Dorothée Benoit-Browaëys. 2011. *Fabriquer la vie: où va la biologie de synthèse?* Paris : Seuil.
- Bensaude-Vincent, Bernadette. 2004. *Se libérer de la matière? Fantômes autour des nouvelles technologies*. Paris : Quæ.
- Bensimon, Corinne. 2010. « La première bactérie de synthèse est née ». *Libération*, 22 mai 2010. https://www.liberation.fr/sciences/2010/05/22/la-premiere-bacterie-de-synthese-est-nee_653684/.
- Berkeley IPIRA. s.d. « Amyris, Inc. | IPIRA ». Berkeley : University of California. Consulté le 16 décembre 2022. <https://ipira.berkeley.edu/amyris-inc>.
- Bikard, David. 2017. « L'année faste de la biologie de synthèse ». *Les Échos*, 16 janvier 2017. <https://www.lesechos.fr/2017/01/annee-faste-de-la-biologie-de-synthese-166591>.
- Birch, Kean. 2017. « Rethinking Value in the Bio-Economy : Finance, Assetization, and the Management of Value ». *Science, Technology, & Human Values* 42 (3) : 460-490. <https://doi.org/10.1177/0162243916661633>.
- Birch, Kean Les Levidow, et Theo Papaioannou. 2010. « Sustainable Capital? The Neoliberalization of Nature and Knowledge in the European “Knowledge-Based Bio-Economy” ». *Sustainability* 2 (9) : 2898-2918. <https://doi.org/10.3390/su2092898>.
- Bomgardner, Melody M. 2017. « Algae Products Specialist TerraVia Goes Bankrupt ». *Chemical & Engineering News*, 9 août 2017. <https://cen.acs.org/articles/95/web/2017/08/Algae-products-specialist-TerraVia-goes-bankrupt.html>.
- Bonneuil, Christophe. 2015. « The Geological Turn ». Dans *The Anthropocene and the Global Environmental Crisis*. Sous la direction de Clive Hamilton, Christophe Bonneuil, et François Gemenne, 17-31. Londres : Routledge.
- Bonneuil, Christophe et Jean-Baptiste Fressoz. (2013) 2016. *L'événement Anthropocène: la Terre, l'histoire et nous*. Réédition, Paris : Points.
- Boudes, Philippe. 2017. « Changement social et écologie : où en est la modernisation écologique ? » *Socio-logos*, 17. <https://doi.org/10.4000/socio-logos.3142>.

- Bourg, Dominique. 2000. « Les origines religieuses de l'idée de progrès ». Dans *Peut-on encore croire au progrès ?* Sous la direction de Dominique Bourg et Jean-Michel Besnier, 21-40. Paris : Presses Universitaires de France.
- Bourg, Dominique et Gérald Hess. 2010. « La géo-ingénierie : réduction, adaptation et scénario du désespoir ». *Natures Sciences Sociétés* 18 (3) : 298-304. <https://doi.org/10.1051/nss/2010037>.
- Boutros, Magdaline. 2019. « Fonderie de génomes: vers l'accélération des découvertes ». *Le Devoir*, 10 juin 2019. <https://www.ledevoir.com/societe/science/556382/fonderie-de-genomes-vers-l-acceleration-des-decouvertes>.
- Brault, Julien. 2014. « Les millionnaires de la levure ». *Les Affaires*, 29 novembre 2014. <https://www.lesaffaires.com/secteurs-d-activite/sante-pharmaceutique-et-biotechnologies/les-millionnaires-de-la-levure/574388>.
- Brent, Roger. 2004. « A Partnership between Biology and Engineering ». *Nature Biotechnology* 22 (10) : 1211-1214. <https://doi.org/10.1038/nbt1004-1211>.
- Bubandt, Nils, Elaine Gan, Heather Anne Swanson et Anna Lowenhaupt Tsing. 2017. « Introduction: Haunted Landscapes of the Anthropocene ». Dans *Arts of Living on a Damaged Planet : Ghosts of the Anthropocene*. Sous la direction de Nils Bubandt, Elaine Gan, Heather Anne Swanson et Anna Lowenhaupt Tsing, 1-14. Minneapolis : University of Minnesota Press.
- Burgard, Matthieu. 2011. « À la croisée de la science et de la politique - Il est devenu possible de faire de la biotechnologie à la maison ». *Le Devoir*, 17 septembre 2011. <https://www.ledevoir.com/societe/331503/a-la-croisee-de-la-science-et-de-la-politique-il-est-devenu-possible-de-faire-de-la-biotechnologie-a-la-maison>.
- Calvert, Jane. 2010. « Synthetic Biology: Constructing Nature? » *The Sociological Review* 58 (1) : 95-112. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2010.01913.x>.
- . 2013. « Engineering Biology and Society: Reflections on Synthetic Biology ». *Science, Technology and Society* 18 (3) : 405-20. <https://doi.org/10.1177/0971721813498501>.
- Cameron, Daphné. 2022. « COP15 sur la biodiversité : La présence d'un lobby des pesticides dérange les écologistes ». *La Presse*, 8 décembre 2022. <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2022-12-08/cop15-sur-la-biodiversite/la-presence-d-un-lobby-des-pesticides-derange-les-ecologistes.php>.

- Carlson, Rob, et Roger Brent. 2000. « DARPA Open-Source Biology Letter ». 18 octobre 2000. <http://www.synthesis.cc/darpa-open-source-biology-letter>.
- Caulfield, Tracy, et Celeste Michelle Condit. 2012. « Science and the Sources of Hype ». *Public Health Genomics* 15 (3-4) : 209-217. <https://doi.org/10.1159/000336533>.
- Ceccarelli, Leah. 2018. « CRISPR as Agent : A Metaphor That Rhetorically Inhibits the Prospects for Responsible Research ». *Life Sciences, Society and Policy* 14 (1) : 24. <https://doi.org/10.1186/s40504-018-0088-8>.
- Centre for Applied Synthetic Biology. s.d. « About CASB ». Université Concordia. Consulté le 24 novembre 2022. <https://www.concordia.ca/content/concordia/en/research/casb/about.html>.
- Chakrabarty, Dipesh. 2009. « The Climate of History : Four Theses ». *Critical Inquiry* 35 (2) : 197-222. <https://doi.org/10.1086/596640>.
- Chakrabarty, Dipesh, Stéphane Haber et Paul Guillibert. 2017. « Réécrire l’histoire depuis l’anthropocène ». *Actuel Marx* 61 (1) : 95-105. <https://doi.org/10.3917/amx.061.0095>.
- Chui, Michael, Matthias Evers, James Manyika, Alice Zheng, et Travers Nisbet. 2020. *The Bio Revolution : Innovations transforming economies, societies, and our lives*. New York : McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>.
- Cohen, Claudia. 2021. « Le Figaro en tête des titres les plus lus chez les décideurs et les foyers les plus aisés ». *Le Figaro*, 28 septembre 2021. <https://www.lefigaro.fr/medias/le-figaro-en-tete-des-titres-les-plus-lus-chez-les-decideurs-et-les-foyers-les-plus-aises-20210928>.
- Convention sur la diversité biologique (CDB). 2022a. « Finance and Biodiversity Day - 14 December 2022 - COP15 ». <https://www.cbd.int/article/cop15-finance-and-biodiversity-day>.
- . 2022b. « Business and Biodiversity Forum - 12 and 13 December 2022 - COP 15 ». <https://www.cbd.int/article/cop15-business-biodiversity-forum>.
- Cooper, Melinda. 2008. *Life as Surplus : Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*. Seattle : University of Washington Press.
- Cooper, Melinda et Catherine Waldby. 2014. *Clinical Labor: Tissue Donors and Research Subjects in the Global Bioeconomy*. Durham : Duke University Press.

- Cour Suprême des États-Unis. 1980. « Diamond v. Chakrabarty, 447 U.S. 303 (1980) ». Justia U.S. Supreme Court. <https://supreme.justia.com/cases/federal/us/447/303/>.
- Crutzen, Paul J. 2002. « Geology of Mankind ». *Nature* 415 (6867) : 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>.
- Cumbers, John. 2021. « Record \$15 Billion SPAC Merger Just Happened For A Technology You've Never Heard Of ». *Forbes*, 17 septembre 2021. <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2021/09/17/record-15-billion-spac-merger-just-happened-for-a-technology-youve-never-heard-of/>.
- Dahling, Randall Louis. 1957. *Shannon's Information Theory : The Spread of an Idea*. Stanford : Stanford University Press.
- Dan-Cohen, Talia. 2016. « Ignoring Complexity: Epistemic Wagers and Knowledge Practices among Synthetic Biologists ». *Science, Technology, & Human Values* 41 (5) : 899-921. <https://doi.org/10.1177/0162243916650976>.
- Daninos, Franck. 2022. « Les matériaux de construction prennent vie ». *Sciences et Avenir*, 1 janvier 2022. https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/materiaux/les-materiaux-de-construction-prennent-vie_160213.
- Dardot, Pierre et Christian Laval. 2010. « Le grand tournant ». Dans *La nouvelle raison du monde*, 273-327. Paris : La Découverte.
- David, Pascaline. 2019. « La biologie synthétique, science de l'utile ». *Le Devoir*, 9 novembre 2019. <https://www.ledevoir.com/societe/566446/la-biologie-synthetique-science-de-l-utile>.
- De Grandi, Michel. 2011. « « La France reste un acteur important de l'innovation » ». *Les Échos*, 27 septembre 2011. <https://www.lesechos.fr/2011/09/la-france-reste-un-acteur-important-de-linnovation-400130>.
- Décarie, Jean-Philippe. 2022. « La finance invitée à la COP15 ». *La Presse*, 14 décembre 2022. <https://www.lapresse.ca/affaires/chroniques/2022-12-14/la-finance-invitee-a-la-cop15.php>.
- Decoene, Thomas, Brecht De Paepe, Jo Maertens, Pieter Coussement, Gert Peters, Sofie L. De Maeseneire et Marjan De Mey. 2018. « Standardization in Synthetic Biology: An Engineering Discipline Coming of Age ». *Critical Reviews in Biotechnology* 38 (5) : 647-656. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1380600>.

- Ducruet, Catherine. 2010. « Les promesses de la biologie de synthèse ». *Les Échos*, 10 juin 2010. <https://www.lesechos.fr/2010/06/les-promesses-de-la-biologie-de-synthese-425888>.
- Engineering Biology Research Consortium (EBRC). s.d. « What is Synthetic/Engineering Biology? » Consulté le 15 juin 2022. <https://ebrc.org/what-is-synbio/>.
- Esquivel Sada, Daphné. 2017. « Un labo à soi. L'idéologie DIYbio de démocratie des biotechnologies et la conjonction entre facultés manuelles et autonomie ». Thèse de doctorat, Université de Montréal. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/20633>.
- Étien, Sandrine. 2011. « Une bactérie au génome synthétique ». *La Recherche*, 1 janvier 2011. <https://www.larecherche.fr/6-une-bact%C3%A9rie-au-g%C3%A9nome-synth%C3%A9tique>.
- Eversberg, Dennis, Jana Holz et Lilian Pungas. 2022. « The Bioeconomy and Its Untenable Growth Promises : Reality Checks from Research ». *Sustainability Science* 18 (2) : 569-582. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01237-5>.
- Feitz, Anne. 2016. « La start-up qui rêve d'une essence sans pétrole ». *Les Échos*, 7 décembre 2016. <https://www.lesechos.fr/2016/12/la-start-up-qui-reve-dune-essence-sans-petrole-1113655>.
- Feldman, Amy. 2021. « Synthetic Biology Company Amyris Swapped Biofuels for Personal Care, its Stock is Up 10-Fold Over the Past Year ». *Forbes*, 15 mars 2021. <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2021/03/15/synthetic-biology-company-amyris-swapped-biofuels-for-personal-care-its-stock-is-up-10-fold-over-the-past-year/>.
- Finlay, Susanna Claire. 2013. « Engineering Biology? Exploring Rhetoric, Practice, Constraints and Collaborations within a Synthetic Biology Research Centre ». *Engineering Studies* 5 (1) : 26-41. <https://doi.org/10.1080/19378629.2013.763811>.
- Flocco, Gaëtan et Mélanie Guyonvarch. 2018. « Points de vue éthiques sur la biologie de synthèse: La "marche du progrès " en question ». Dans *Traité de bioéthique IV. Les nouveaux territoires de la bioéthique*. Sous la direction d'Emmanuel Hirsch et François Hirsch, 307-317. Toulouse : Érès.
- . 2019. « À quoi rêve la biologie de synthèse ? : Légitimations et critiques de l'"amélioration du vivant" ». *Socio*, 12 : 49-72. <https://doi.org/10.4000/socio.4477>.

- . 2020. « Modifier le vivant pour sauver la planète ? : Les raisons d’entreprendre en biotechs ». *Savoir/Agir* 51 (1): 59-67. <https://doi.org/10.3917/sava.051.0059>.
- . 2021. « Une autre façon de faire de la science ? Déconstruire l’amélioration du vivant ». Dans *Interculture : contributions, réseaux, spécificités des contextes francophones*. Sous la direction de Marina Geat, 131-142. Rome : Roma Tre-Press.
- . 2022. « Dompter toujours plus le vivant. Une critique de la "bio-ingénierie" ». *Écologie & Politique* 2 (65) : 113-30. <https://www.cairn.info/revue--2022-2-page-113.htm>.
- Forum Économique Mondial (FEM). 2021. « The biorevolution is kicking off. Here’s how to harness its opportunities early on ». <https://www.weforum.org/agenda/2021/05/the-biorevolution-is-kicking-off-heres-how-to-harness-its-opportunities-early-on/>.
- . s.d. « Global Future Council on the Future of Synthetic Biology ». Consulté le 15 juin 2022. <https://www.weforum.org/communities/gfc-on-synthetic-biology/>.
- Fox Keller, Evelyn. 1999. *Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie*. Le Plessis-Robinson : Institut Synthélabo pour le progrès de la connaissance.
- . 2003. *Le siècle du gène*. Paris : Gallimard.
- . 2009. « What Does Synthetic Biology Have to Do with Biology? » *BioSocieties* 4 : 291-302. <https://doi.org/10.1017/S1745855209990123>.
- . 2017. « Nature, Nurture, and the Human Genome Project ». Dans *The Ethics of Biotechnology*. Sous la direction de Gaymon Bennett, 335-353. New York : Routledge.
- Foyer, Jean. 2015. « Introduction : La modernisation écologique à l’épreuve de Rio+20 ». Dans *Regards croisés sur Rio+20, la modernisation écologique à l’épreuve*. Sous la direction de Jean Foyer, 11-28. Paris : CNRS Éditions.
- Fréchin, Jean-Louis. 2019. « Vers des objets vivants ? » *Les Échos*, 12 mars 2019. <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/vers-des-objets-vivants-999699>.
- Frow, Emma. 2013. « Making Big Promises Come True? Articulating and Realizing Value in Synthetic Biology ». *BioSocieties* 8 (4) : 432-448. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2013.28>.
- . 2020. « From “Experiments of Concern” to “Groups of Concern”: Constructing and Containing Citizens in Synthetic Biology ». *Science, Technology, & Human Values* 45 (6) : 1038-1064. <https://doi.org/10.1177/0162243917735382>.

- Frow, Emma et Jane Calvert. 2013. « “Can Simple Biological Systems Be Built from Standardized Interchangeable Parts?” Negotiating Biology and Engineering in a Synthetic Biology Competition ». *Engineering Studies* 5 (1): 42-58. <https://doi.org/10.1080/19378629.2013.764881>.
- Garland-Thomson, Rosemarie. 2020. « How We Got to CRISPR : The Dilemma of Being Human ». *Perspectives in Biology and Medicine* 63 (1) : 28-43. <https://doi.org/10.1353/pbm.2020.0002>.
- Gaudillière, Jean-Paul. 2015. « Une manière industrielle de savoir ». Dans *Histoire des sciences et des savoirs. Tome 3 : Le siècle des technosciences*. Sous la direction de Dominique Pestre et Christophe Bonneuil, 85-105. Paris : Seuil.
- Gelfert, Axel. 2013. « Synthetic Biology between Technoscience and Thing Knowledge ». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44 (2) : 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.03.009>.
- Génome Québec. s.d. « L’ADN ». Consulté le 20 octobre 2022. <https://genomequebec.com/educative-content/espace-educatif/tout-savoir/ladn/>.
- Genopole. 2020. « Global Bioenergies adapte son CA et se prépare à la commercialisation dès 2021 ». <https://www.genopole.fr/temps-forts/espace-presse/communiqués-de-presse/gbes-adapte-son-ca-et-commercialisation/>.
- Geoghegan, Bernard Dionysius. 2019. « Architectures of Information: A comparison of Wiener’s and Shannon’s Theories of Information ». Dans *Computer Architectures : Constructing the Common Ground*. Sous la direction de Theodora Vardouli et Olga Touloumi, 135-159. Londres : Routledge.
- Georges, Benoît. 2013. « Des bactéries pour éclairer la ville ». *Les Échos*, 2 juillet 2013. <https://www.lesechos.fr/2013/07/des-bacteries-pour-eclairer-la-ville-325224>.
- Ginkgo Bioworks. 2022. *2022 Sustainability Report : Caring at Ginkgo*. Boston : Ginkgo Bioworks. https://s28.q4cdn.com/823357996/files/doc_downloads/2023/06/2022_sustainability_report_.pdf.
- . s.d.a. « Agriculture ». Consulté le 26 janvier 2023. <https://www.ginkgobioworks.com/offerings/agriculture/>.

- . s.d.b. « Careers ». Ginkgo Bioworks. Consulté le 4 février 2023. <https://www.ginkgobioworks.com/careers/>.
- . s.d.c. « Governments ». Consulté le 27 janvier 2023. <https://www.ginkgobioworks.com/offerings/governments/>.
- . s.d.d. « Industrials ». Consulté le 27 janvier 2023. <https://www.ginkgobioworks.com/offerings/industrials/>.
- . s.d.e. « Investor Resources ». Consulté le 26 janvier 2023. <https://investors.ginkgobioworks.com/resources/investor-faq/default.aspx>.
- . s.d.f. « Nutrition & Wellness ». Consulté le 31 janvier 2023. <https://www.ginkgobioworks.com/offerings/nutrition-wellness/>.
- . s.d.g. « Our Platform ». Consulté le 15 décembre 2022. <https://www.ginkgobioworks.com/our-platform/>.
- . s.d.h. « Our Story ». Consulté le 15 décembre 2022. <https://www.ginkgobioworks.com/about/>.
- . s.d.i. « The Organism Company ». Consulté le 15 décembre 2022. <https://www.ginkgobioworks.com/>.
- . s.d.j. « Why Invest ». Consulté le 2 février 2023. <https://investors.ginkgobioworks.com/why-invest/default.aspx>.
- Global Bioenergies. s.d.a. « Carburants durables ». Consulté le 14 décembre 2022. <https://www.global-bioenergies.com/carburants-durables/>.
- . s.d.b. « Le procédé isobutène ». Consulté le 14 décembre 2022. <https://www.global-bioenergies.com/le-procede-isobutene/>.
- . s.d.c. « Notre Ecosystème ». Consulté le 14 décembre 2022. <https://www.global-bioenergies.com/notre-ecosysteme/>.
- . s.d.d. « Notre raison d'être ». Consulté le 17 janvier 2023. <https://www.global-bioenergies.com/notre-raison-detre/>.
- Glowee. s.d.a. « Biolumia, le jeu qui vous plonge au coeur de la magie des abysses ». Consulté le 17 décembre 2022. <https://www.glowee.com/biolumia>.
- . s.d.b. « C'est la mer qui nous éclaire! » Consulté le 17 décembre 2022. <https://www.glowee.com>.

- . s.d.c. « Glowevent : Plongez vos événements au coeur de la magie de la bioluminescence ». Consulté le 24 janvier 2023. <https://www.glowee.com/glowevent>.
- . s.d.d. « Glowinspi : Une dose de bioinspiration et d'audace ». Consulté le 24 janvier 2023. <https://www.glowee.com/glowinspi>.
- . s.d.e. « Glowpolis : Mobilier urbain bioluminescent ». Consulté le 17 décembre 2022. <https://www.glowee.com/glowpolis>.
- Gouvernement du Canada. 2023. « Conférence de l'ONU sur la biodiversité : COP15 à Montréal ». <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/faune-flore-especes/biodiversite/cop15.html>.
- Gravel, Pauline. 2014. « Recréer la vie ». *Le Devoir*, 1 novembre 2014. <https://www.ledevoir.com/societe/science/422699/recreer-la-vie>.
- Grinevald, Jacques. 2000. « Progrès et entropie, cinquante ans après ». Dans *Peut-on encore croire au progrès ?* Sous la direction de Dominique Bourg et Jean-Michel Besnier, 197-227. Paris : Presses Universitaires de France.
- Groupe Dassault. s.d. « Groupe Dassault ». Consulté le 2 décembre 2022. <https://www.dassault.fr/>.
- Groupe Les Échos – Le Parisien. s.d. « Les Echos ». Consulté le 6 décembre 2022. <https://lesechosleparisien.fr/le-groupe/nos-activites/les-echos/>.
- Hagen, Kristin, Margret Engelhard et Georg Toepfer. 2016. « Editorial : Ambivalences in Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology ». Dans *Ambivalences of Creating Life : Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*. Sous la direction de Kristin Hagen, Margret Engelhard et Georg Toepfer, 1-8. Cham : Springer.
- Halin, Francis. 2019. « Les Affaires change de mains et coupe des postes ». *Journal de Montréal*, 19 septembre 2019. <https://www.journaldemontreal.com/2019/09/19/le-magazine-les-affaires-coupe-une-dizaine-de-postes>.
- Hallaoui, Nabil. 2017. « Une nature sous contrôle ». *Le Monde*, 21 avril 2017. <https://nouveau.eureka.cc/Link/unimont1/news%0c2%0b720170421%0c2%0b7LM%0c2%0b71166198>.
- Hamel, Jacques. 1997. *Précis d'épistémologie de La Sociologie*. Paris-Montréal : L'Harmattan.
- . 2006. « Décrire, comprendre et expliquer : Réflexions et illustrations en sociologie ». *SociologieS*. <https://doi.org/10.4000/sociologies.132>.

- . 2021. « Comment la sociologie trouve-t-elle son fait ? » *Recherches sociologiques et anthropologiques* 52(1) : 199-211. <https://doi.org/10.4000/rsa.4858>.
- Hammang, Annie. 2023. « Troubleshooting: The Automation of Synthetic Biology and the Labor of Technological Futures ». *Science, Technology, & Human Values* X(X). <https://doi.org/10.1177/01622439221149524>.
- Haraway, Donna J. 1997. *Modest_Witness@Second_Millennium. FemaleMan©Meets_OncoMouse: Feminism and Technoscience*. New York : Routledge.
- Harvey, David. 1989. *The Condition of Postmodernity : An Enquiry into the Origins of Cultural Change*. Oxford : Blackwell.
- Hausknost, Daniel, Ernst Schriebl, Christian Lauk et Gerald Kalt. 2017. « A Transition to Which Bioeconomy? An Exploration of Diverging Techno-Political Choices ». *Sustainability* 9 (4) : 669. <https://doi.org/10.3390/su9040669>.
- Hayles, N. Katherine. 1999. *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Heams, Thomas. 2011. « De quoi la biologie synthétique est-elle le nom ? » Dans *Les Mondes darwiniens. L'évolution de l'évolution. Volume 1*. Sous la direction de Thomas Heams, Philippe Huneman, Guillaume Lecointre et Marc Silberstein, 553-598. Paris: Éditions Matériologiques.
- . 2013. « Comprendre l'émergence de la biologie de synthèse et ses enjeux. Introduction ». *Médecine/sciences*, 29 (HS 2) : 11-12. <https://doi.org/10.1051/medsci/201329s203>.
- . 2015. « Can Life Be Engineered? Epistemological Roots and Blind Spots of Synthetic Biology ». *BIO Web of Conferences* 4 : 16. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20150400016>.
- Hecketsweiler, Chloé. 2017. « L'ADN synthétique, couteau suisse du futur ». *Le Monde*, 22 décembre 2017. https://www.lemonde.fr/economie/article/2017/12/22/l-adn-synthetique-couteau-suisse-du-futur_5233381_3234.html.
- . 2018. « Bolt Threads réinvente la soie et le cuir ». *Le Monde*, 2 mai 2018. https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/05/02/bolt-threads-reinvente-la-soie-et-le-cuir_5293314_3234.html.
- Hellsten, Iina. 2002. *The Politics of Metaphor Biotechnology and Biodiversity in the Media*. Tampere : Tampere University Press.

- Hellsten, Iina et Brigitte Nerlich. 2011. « Synthetic Biology: Building the Language for a New Science Brick by Metaphorical Brick ». *New Genetics and Society* 30 (4) : 375-397. <https://doi.org/10.1080/14636778.2011.592009>.
- Helmreich, Stefan. 2007. « Blue-Green Capital, Biotechnological Circulation and an Oceanic Imaginary: A Critique of Biopolitical Economy ». *BioSocieties* 2 (3) : 287-302. <https://doi.org/10.1017/S1745855207005753>.
- Hilgartner, Stephen. 2012. « Novel Constitutions? New Regimes of Openness in Synthetic Biology ». *BioSocieties* 7 (2) : 188-207. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2012.5>.
- . 2015. « Capturing the Imaginary: Vanguard, Visions and the Synthetic Biology Revolution ». Dans *Science and Democracy*. Sous la direction de Stephen Hilgartner, Clark Miller et Rob Hagendijk, 33-55. Londres : Routledge.
- Horizons de politiques Canada. 2018. « La prochaine génération d'enjeux mondiaux émergents ». Gouvernement du Canada. <https://horizons.gc.ca/fr/2018/10/19/la-prochaine-generation-denjeux-mondiaux-emergents/>.
- Houle, Gilles. 2002. « Le sens commun comme forme de connaissance : de l'analyse clinique en sociologie ». *Sociologie et sociétés* 19 (2) : 77-86. <https://doi.org/10.7202/001353ar>.
- Houzelle, Chantal. 2012. « Global Bioenergies concocte un hydrocarbure sans pétrole ». *Les Échos*, 5 septembre 2012. <https://www.lesechos.fr/2012/09/global-bioenergies-concocte-un-hydrocarbure-sans-petrole-362214>.
- . 2013. « Anne Lauvergeon fixe 7 ambitions fortes pour une France innovante en 2030 ». *Les Échos*, 11 octobre 2013. <https://www.lesechos.fr/2013/10/anne-lauvergeon-fixe-7-ambitions-fortes-pour-une-france-innovante-en-2030-345030>.
- Huet, Sylvestre. 2011. « L'inconnue du Darwin express ». *Libération*, 20 septembre 2011. https://www.liberation.fr/sciences/2011/09/20/l-inconnue-du-darwin-express_762295/.
- Jacobi, Daniel. 1985. « Sémiotique du discours de vulgarisation scientifique ». *Semen* 2. <https://doi.org/10.4000/semen.4291>.
- Jakimowicz, Aleksander. 2020. « The Role of Entropy in the Development of Economics ». *Entropy* 22 (4) : 452. <https://doi.org/10.3390/e22040452>.
- Jalinière, Hugo. 2017. « Ces cellules artificielles vont révolutionner la médecine ». *Sciences et Avenir*, 23 février 2017.

- Jarrige, François. 2022. *La ronde des bêtes : Le moteur animal et la fabrique de la modernité*. Paris : La Découverte.
- Jasanoff, Sheila. 2004. *States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order*. New York : Routledge.
- . 2012. « Taking Life: Private Rights in Public Nature ». Dans *Lively Capital : Biotechnologies, Ethics, and Governance in Global Markets* Sous la direction de Kaushik Sunder Rajan, 155-183. Durham : Duke University Press.
- . 2015. « Future Imperfect: Science, Technology, and the Imaginations of Modernity ». Dans *Dreamscapes of Modernity: Sociotechnical Imaginaries and the Fabrication of Power*. Sous la direction de Sheila Jasanoff et Sang-Hyun Kim, 1-33. Chicago : The University of Chicago Press.
- Jasanoff, Sheila et Sang-Hyun Kim. 2009. « Containing the Atom : Sociotechnical Imaginaries and Nuclear Power in the United States and South Korea ». *Minerva* 47 (2) : 119-146. <https://doi.org/10.1007/s11024-009-9124-4>.
- Jodelet, Denise. 2003. « Représentations sociales : un domaine en expansion ». Dans *Les représentations sociales*. Sous la direction de Denise Jodelet, 45-78. Paris : Presses Universitaires de France.
- Joly, Pierre-Benoît. 2015. « Le régime des promesses technoscientifiques ». Dans *Sciences et technologies émergentes: pourquoi tant de promesses?* Sous la direction de Marc Audétat, Gaïa Barazzetti, Gabriel Dorthe, Claude Joseph, Alain Kaufmann et Dominique Vinck, 31-47. Paris : Hermann.
- Journal de Montréal*. 2010. « Vers la vie artificielle? » 31 mai 2010. <https://nouveau.eureka.cc/Search/ResultMobile/2>.
- . s.d. « Actualités, nouvelles et chroniques | Le Journal de Montréal ». Consulté le 2 décembre 2022. <https://www.journaldemontreal.com/>.
- Kampourakis, Kostas. 2020. « Why Does It Matter That Many Biology Concepts Are Metaphors? » In *Philosophy of Science for Biologists*. Sous la direction de Kostas Kampourakis et Tobias Uller, 102-122. Cambridge : Cambridge University Press.
- Karabin, James, Izaac Mansfield et Emma K. Frow. 2021. « Exploring Presentations of Sustainability by US Synthetic Biology Companies ». *PLOS ONE* 16 (9): e0257327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257327>.

- Kay, Lily E. 2000. *Who Wrote the Book of Life?: A History of the Genetic Code*. Stanford : Stanford University Press.
- Kearnes, Matthew. 2013. « Performing Synthetic Worlds : Situating the Bioeconomy ». *Science and Public Policy* 40 (4) : 453-465. <https://doi.org/10.1093/scipol/sct052>.
- Kearnes, Matthew, Declan Kuch et Angus Johnston. 2018. « How to Do Things with Metaphors : Engineering Life as Hodgepodge ». *Life Sciences, Society and Policy* 14 (1) : 22. <https://doi.org/10.1186/s40504-018-0084-z>.
- Kenney, Martin. 1986. *Biotechnology: The University-Industrial Complex*. New Haven : Yale University Press.
- Képès, François. 2015. « L'ABC de la biologie de synthèse ». *CNRS Le journal*, 17 juin 2015. <https://lejournel.cnrs.fr/billets/labc-de-la-biologie-de-synthese>.
- Kiley, Thomas D. 1980. « Diamond v. Chakrabarty - Genentech ». *Diamond v. Chakrabarty*, no.79-136, Cour suprême des États-Unis.
- Klingler, Cécile. 2010a. « Vers les premières bactéries synthétiques ». *La Recherche*, 1 juillet 2010.
- . 2010b. « Construire des cellules de toutes pièces ». *La Recherche*, 1 novembre 2010.
- Knorr Cetina, Karin. 2005. « The Rise of a Culture of Life ». *EMBO Reports* 6 (S1) : S76-S80. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400437>.
- La Presse. s.d.a. « LaPresse.ca | Actualités et Infos au Québec et dans le monde ». Consulté le 1^{er} décembre 2022. <https://www.lapresse.ca/>.
- . s.d.b. « Notre histoire ». Consulté le 1^{er} décembre 2022. <https://info.lapresse.ca/a-propos/notre-histoire>.
- Lacamp, Irene. 2020. « Prix Nobel de chimie : à quoi sert la technologie d'édition génomique CRISPR-Cas9 ? » *Sciences et Avenir*, 7 octobre 2020. https://www.sciencesetavenir.fr/fondamental/biologie-cellulaire/a-quoi-sert-la-technologie-d-edition-genomique-crispr-cas9_141256.
- Lafontaine, Céline. 2004. *L'empire cybernétique: des machines à penser à la pensée machine*. Paris : Seuil.
- . 2007. « The Cybernetic Matrix of "French Theory" ». *Theory, Culture & Society* 24 (5) : 27-46. <https://doi.org/10.1177/0263276407084637>.

- . 2014a. *Le corps-marché. La marchandisation de la vie humaine à l'ère de la bioéconomie*. Paris : Seuil.
- . 2014b. « Le corps cybernétique de la bioéconomie ». *Hermès* 68 (1) : 31-35. <https://doi.org/10.3917/herm.068.0031>.
- . 2015. « Régénérer le corps pour régénérer l'économie. La double promesse de la médecine régénératrice ». Dans *Sciences et technologies émergentes: pourquoi tant de promesses?* Sous la direction de Marc Audétat, Gaïa Barazzetti, Gabriel Dorthe, Claude Joseph, Alain Kaufmann et Dominique Vinck, 243-258. Paris : Hermann.
- . 2021. *Bio-objets : les nouvelles frontières du vivant*. Paris : Seuil.
- Lakoff, George et Mark Johnson. (1980) 2003. *Metaphors We Live By*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Landecker, Hannah. 2007. *Culturing Life : How Cells Became Technologies*. Cambridge : Harvard University Press.
- . 2022. « Living Differently in Time: Plasticity, Temporality and Cellular Biotechnologies ». Dans *Technologized Images, Technologized Bodies*. Sous la direction de Jeanette Edwards, Penelope Harvey et Peter Wade, 211-236. New York : Berghahn Books.
- Larousse. s.d.a. « Biologie moléculaire ». Consulté le 19 novembre 2022. https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/biologie_mol%C3%A9culaire/11568.
- . s.d.b. « Boîte noire ». Consulté le 9 avril 2023. https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/bo%C3%AEte_noire/187193.
- . s.d.c. « Génome ». Consulté le 3 novembre 2022. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/g%C3%A9nome/36594>.
- . s.d.d. « Morphing ». Consulté le 30 mars 2023. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/morphing/52675>.
- . s.d.e. « Piston ». s.d.e. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/piston/61198>.
- . s.d.f. « Tâche ». Consulté le 13 mai 2023. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/t%C3%A2che/76339>.
- Larousserie, David et Hervé Morin. 2023. « Dans la jungle des cellules artificielles, ces petites usines à répliquer le vivant ». *Le Monde*, 12 juin 2023.

- https://www.lemonde.fr/sciences/article/2023/06/12/dans-la-jungle-des-cellules-artificielles-ces-petites-usines-a-repliquer-le-vivant_6177316_1650684.html.
- Larrère, Catherine. 2015. « Anthropocène : le nouveau grand récit ». *Esprit* 12 : 46-55. <https://doi.org/10.3917/espri.1512.0046>.
- . 2018. « Anthropocène : le nouveau grand récit ? » Dans *Penser l'Anthropocène*. Sous la direction de Rémi Beau et Catherine Larrère, 487-497. Paris : Presses de Sciences Po.
- Le Dévédec, Nicolas. 2013. « La société de l'amélioration. Le renversement de la perfectibilité humaine, de l'humanisme des Lumières à l'humain augmenté ». Thèse de doctorat, Université de Montréal. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/10821>.
- Le Devoir*. 2010. « Des biologistes américains donnent vie à une cellule synthétique ». 22 mai 2010. <https://www.ledevoir.com/societe/science/289517/des-biologistes-americains-donnent-vie-a-une-cellule-synthetique>.
- . s.d. « Le Devoir | Nouvelles, politique, économie, culture et chroniques ». Consulté le 1^{er} décembre 2022. <https://www.ledevoir.com/>.
- Le Figaro*. 2013. « Quand la vie produit des objets du quotidien ». 26 avril 2013. <https://nouveau.eureka.cc/Link/unimont1/news%0c2%b720130426%0c2%b7LF%0c2%b7242%0c3%9721%0c3%9721049951267>.
- . s.d. « Le Figaro - Actualité en direct et informations en continu ». Consulté le 3 décembre 2022. <https://www.lefigaro.fr/>.
- Le Hir, Pierre. 2010. « Des bactéries transgéniques pour les biocarburants ». *Le Monde*, 3 décembre 2010. https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/12/03/des-bacteries-transgeniques-pour-les-biocarburants_1448486_3244.html#:~:text=Des%20bact%0c3%A9ries%2C%20des%20levures%20ou,march%0c3%A9%20qui%20pourrait%20%0c3%A9merger%20rapidement.
- . 2014. « Marc Delcourt, roi du pétrole vert ». *Le Monde*, 28 juillet 2014. https://www.lemonde.fr/festival/article/2014/07/28/marc-delcourt-roi-du-petrole-vert_4463626_4415198.html.
- Le Monde*. 2010. « Vertiges de la biologie synthétique ». 22 mai 2010. https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/05/22/vertiges-de-la-biologie-synthetique_1361477_3244.html.

- Le Monde*. 2016. « Des chercheurs américains veulent réécrire le génome humain ». 3 juin 2016. https://www.lemonde.fr/sciences/article/2016/06/03/des-chercheurs-americains-veulent-reecrire-le-genome-humain_4933983_1650684.html.
- Le Monde*. 2021a. « Les audiences du "Monde" ». 21 janvier 2021. https://www.lemonde.fr/le-monde-et-vous/article/2021/01/21/les-audiences-du-monde_6067105_6065879.html.
- Le Monde*. 2021b. « "Le Monde", une indépendance éditoriale totale et absolue ». 27 janvier 2021. https://www.lemonde.fr/le-monde-et-vous/article/2021/01/27/le-monde-une-independance-editoriale-totale-et-absolue_6067813_6065879.html.
- Le Monde*. 2021c. « L'histoire du "Monde" au fil des années ». 12 février 2021. https://www.lemonde.fr/le-monde-et-vous/article/2021/02/12/l-histoire-du-monde-au-fil-des-annees_6069693_6065879.html.
- . s.d. « Le Monde ». Consulté le 2 décembre 2022. <https://www.lemonde.fr/>.
- Le Robert. s.d.a. « Fonderie ». Consulté le 4 avril 2023. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/fonderie>.
- . s.d.b. « Usine ». Consulté le 27 avril 2023. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/usine>.
- Leblanc, Joël. 2020. « La biologie synthétique ou la vie en version 2.0 ». *Québec Science*, 1 janvier 2020. <https://www.quebecscience.qc.ca/sciences/biologie-synthetique-vie/>.
- Lechermeier, Gilbert. 2019. *Le vivant. La singularité et l'universel*. Paris : Éditions Matériologiques.
- Leglu, Dominique. 2020. « Meccano du vivant ». *La Recherche*, 1 avril 2020.
- Lelievre, Adrien. 2022. « Neoplants, la start-up qui purifie l'air intérieur avec des plantes ». *Les Échos*, 27 octobre 2022. <https://www.lesechos.fr/start-up/impact/neoplants-la-start-up-qui-purifie-lair-interieur-avec-des-plantes-1873605>.
- Lentschner, Kent. 2021. « La chimie verte, nouvel eldorado des start-up ». *Le Figaro*, 17 novembre 2021. <https://www.lefigaro.fr/conjoncture/la-chimie-verte-nouvel-eldorado-des-start-up-20211117>.
- Les Affaires. s.d.a. « Bienvenue dans l'espace annonceur du Groupe Les Affaires ». Consulté le 5 décembre 2022. <https://www.lesaffaires.com/publicite>.
- . s.d.b. « LesAffaires.com | Actualités Économiques, Bourse et Finances ». Consulté le 5 décembre 2022. <https://www.lesaffaires.com/>.

- Les Echos. s.d. « Les Echos : actualités en direct, Économie, Finance, Marchés, Politique, Entreprises, Start-up ». Consulté le 6 décembre 2022. <https://www.lesechos.fr/>.
- Letarte, Martine. 2013. « Éthique - Scientifiques et philosophes se confrontent ». *Le Devoir*, 4 décembre 2013. <https://www.ledevoir.com/societe/science/394936/scientifiques-et-philosophes-se-confrontent>.
- Levallois, Clément. 2010. « Can De-growth be Considered a Policy Option? A Historical Note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome ». *Ecological Economics* 69 (11): 2271-2278. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.020>.
- Lévy-Leblond, Jean-Marc. 2000. « La science et le progrès, quel rapport ? » Dans *Peut-on encore croire au progrès ?* Sous la direction de Dominique Bourg et Jean-Michel Besnier, 137-156. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lewenstein, Bruce V. 1995. « Science and the Media ». Dans *Handbook of Science and Technology Studies*. Sous la direction de Gerald Markle, James Peterson, Trevor Pinch et Sheila Jasanoff, 343-360. Thousand Oaks : SAGE.
- Lewontin, Richard C. 1996. « Evolution as Engineering ». Dans *Integrative Approaches to Molecular Biology*. Sous la direction de Julio Collado-Vides, Boris Magasanik et Temple F. Smith, 1-10. Cambridge : MIT Press.
- Libération*. s.d. « Libération - Actualité en direct, infos en France et dans le monde ». Consulté le 5 décembre 2022. <https://www.liberation.fr/>.
- Lienhard, Laetitia. 2019. « Crowdfunding : comment Glowee a levé plus d'1,3 million d'euros ». *Les Echos Entrepreneurs*, 3 septembre 2019. <https://business.lesechos.fr/entrepreneurs/financer-sa-creation/0601307341510-crowdfunding-comment-glowee-a-leve-plus-d-1-3-million-d-euros-331315.php#Xtor=AD-6000>.
- Litterst, Leona. 2016. « Synthetic Biology—Playing Games? » Dans *Ambivalences of Creating Life : Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*. Sous la direction de Kristin Hagen, Margret Engelhard et Georg Toepfer, 243-250. Cham : Springer.
- Loeve, Sacha. 2015. « La Loi de Moore : enquête critique sur l'économie d'une promesse ». Dans *Sciences et technologies émergentes : pourquoi tant de promesses?* Sous la direction de Marc Audétat, Gaïa Barazzetti, Gabriel Dorthe, Claude Joseph, Alain Kaufmann et Dominique Vinck, 91-113. Paris : Hermann.

- Louis Vuitton Moët Hennessy (LVMH). s.d. « Les Échos ». Consulté le 6 décembre 2022. <https://www.lvmh.fr/les-maisons/autres-activites/les-echos/>.
- Mackenzie, Adrian. 2013. « The Economic Principles of Industrial Synthetic Biology : Cosmogony, Metabolism and Commodities ». *Engineering Studies* 5 (1) : 74-89. <https://doi.org/10.1080/19378629.2013.764880>.
- Mackenzie, Adrian, Claire Waterton, Rebecca Ellis, Emma K. Frow, Ruth McNally, Lawrence Busch et Brian Wynne. 2013. « Classifying, Constructing, and Identifying Life : Standards as Transformations of “The Biological” ». *Science, Technology, & Human Values* 38 (5) : 701-722. <https://doi.org/10.1177/0162243912474324>.
- Maestrutti, Marina. 2011. *Imaginaires des nanotechnologies : mythes et fictions de l'infiniment petit*. Paris : Vuibert.
- Maggiore, Robert. 2013. « Comment Sartre a lancé “Libé” ». *Libération*, 8 juillet 2013. https://www.liberation.fr/culture/2013/07/08/comment-sartre-a-lance-libe_916825/.
- Malboeuf, Marie-Claude. 2019. « Biopiratage : bricoleurs du vivant ». *La Presse*, 27 juillet 2019. <https://www.lapresse.ca/actualites/sciences/2019-07-27/biopiratage-bricoleurs-du-vivant>.
- Mansuy, Daniel. 2012. « Des “bio-usines” à carburants et à médicaments ». *Le Figaro*, 22 juin 2012. <https://www.lefigaro.fr/sciences/2012/06/22/01008-20120622ARTFIG00708-des-bio-usines-a-carburants-et-a-medicaments.php>.
- Mariette, Alice. 2018. « Un secteur en pleine croissance ». *Le Devoir*, 3 novembre 2018. <https://www.ledevoir.com/societe/education/540279/un-secteur-en-pleine-croissance>.
- Marlière, Philippe. 2012. « Faut-il avoir peur de la biologie synthétique ? » *Le Figaro*, 22 juin 2012. <https://www.lefigaro.fr/sciences/2012/06/22/01008-20120622ARTFIG00775-faut-il-avoir-peur-de-la-biologie-synthetique.php>.
- Marris, Claire et Jane Calvert. 2020. « Science and Technology Studies in Policy : The UK Synthetic Biology Roadmap ». *Science, Technology, & Human Values* 45 (1) : 34-61. <https://doi.org/10.1177/0162243919828107>.
- Martin, Paul A. et Ilke Turkmendag. 2021. « Thinking the Unthinkable: How Did Human Germline Genome Editing Become Ethically Acceptable? » *New Genetics and Society* 40 (4) : 384-405. <https://doi.org/10.1080/14699915.2021.1932451>.

- Mediaobs. s.d.c. « La Recherche ». Consulté le 8 décembre 2022.
<https://www.mediaobs.com/nos-marques/science/la-recherche/>.
- . s.d.a. « Le magazine de la connaissance ». Consulté le 8 décembre 2022.
<https://www.mediaobs.com/nos-marques/science/sciences-et-avenir/>.
- . s.d.b. « The Makers ». Mediaobs. Consulté le 8 décembre 2022.
<https://www.mediaobs.com/the-makers/>.
- Mercure, Philippe. 2018. « Une technique pour modifier les êtres vivants ». *La Presse*, 12 août 2018.
https://plus.lapresse.ca/screens/d29421f4-c20d-47db-9cec-39813fd1036e%7C_0.html.
- Moal, Catherine. 2016. « La Paillasse catalyse les projets autour de la biologie ». *Les Échos*, 27 juin 2016. <https://www.lesechos.fr/2016/06/la-paillasse-catalyse-les-projets-autour-de-la-biologie-210899>.
- Morange, Michel. 1994. *Histoire de la biologie moléculaire*. Paris : La Découverte.
- . 2009. « A Critical Perspective on Synthetic Biology ». *Hyle* 15 (1) : 21-30.
<https://www.hyle.org/journal/issues/15-1/morange.htm>.
- . 2012. « Synthetic Biology : A Challenge to Mechanical Explanations in Biology? » *Perspectives in Biology and Medicine* 55 (4) : 543-553.
<https://doi.org/10.1353/pbm.2012.0048>.
- Morin, Hervé. 2010a. « Création d’une cellule “synthétique” ». *Le Monde*, 21 mai 2010.
https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/05/21/creation-d-une-cellule-synthetique_1361097_3244.html.
- . 2010b. « Vers des vies moins ordinaires ». *Le Monde*, 17 décembre 2010.
https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/12/17/vers-des-vies-moins-ordinaires_1454869_3244.html.
- Müller, Martin. 2016. « “First Species Whose Parent Is a Computer”—Synthetic Biology as Technoscience, Colonizing Futures, and the Problem of the Digital ». Dans *Ambivalences of Creating Life : Societal and Philosophical Dimensions of Synthetic Biology*. Sous la direction de Kristin Hagen, Margret Engelhard et Georg Toepfer, 101-113. Cham : Springer.
- Myles, Brian. 2018. « “Le Devoir” accroît son lectorat global ». *Le Devoir*, 27 janvier 2018.
<https://www.ledevoir.com/culture/medias/518624/le-devoir-poursuit-sur-sa-lancee>.

- National Human Genome Institute (NHGRI). 2019. « Synthetic Biology ». <https://www.genome.gov/about-genomics/policy-issues/Synthetic-Biology>.
- National Science Foundation. 2020. *The Endless Frontier - 75th Anniversary Edition*. Washington : NSF. https://www.nsf.gov/about/history/EndlessFrontier_w.pdf.
- Nerlich, Brigitte, et Iina Hellsten. 2004. « Genomics : Shifts in Metaphorical Landscape between 2000 and 2003 ». *New Genetics and Society* 23 (3) : 255-268. <https://doi.org/10.1080/1463677042000305039>.
- Neyrat, Frédéric. 2014. « Critique du géo-constructivisme. Anthropocène & géo-ingénierie ». *Multitudes* 56 (2) : 37-47. <https://doi.org/10.3917/mult.056.0037>.
- . 2016. *La part inconstructible de la Terre. Critique du géo-constructivisme*. Paris : Seuil.
- Nicholson, Daniel J. 2012. « The Concept of Mechanism in Biology ». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43 (1) : 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2011.05.014>.
- . 2013. « Organisms≠Machines ». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44 (4) : 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.05.014>.
- . 2019. « Is the Cell Really a Machine? » *Journal of Theoretical Biology* 477 : 108-126. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.06.002>.
- . 2020. « On Being the Right Size, Revisited: The Problem with Engineering Metaphors in Molecular Biology ». Dans *Philosophical Perspectives on the Engineering Approach in Biology : Living Machines?* Sous la direction de Sune Holm et Maria Serban, 40-68. Londres : Routledge.
- Nightingale, Paul et Paul Martin. 2004. « The Myth of the Biotech Revolution ». *Trends in Biotechnology* 22 (11) : 564-569. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.09.010>.
- Nordmann, Alfred. 2006. « Collapse of Distance: Epistemic Strategies of Science and Technoscience ». *Danish Yearbook of Philosophy* 41 (1) : 7-34. https://brill.com/view/journals/dyp/41/1/article-p7_7.xml.
- Nothias, Jean-Luc. 2010. « Faut-il avoir peur de la vie artificielle? » *Le Figaro*, 31 mai 2010. <https://nouveau.eureka.cc/Link/unimont1/news%20b720100531%20b7LF%20b7109%20c3%9720%20c3%9724227196584>.

- Office québécois de la langue française (OQLF). 1999. « Boîte noire ». 1999. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8374149/boite-noire>.
- OpenWetWare. s.d. « Synthetic Biology:Synthetic Biology 1.0 ». Consulté le 15 juin 2022. https://openwetware.org/wiki/Synthetic_Biology:Synthetic_Biology_1.0.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 2009. *La bioéconomie à l'horizon 2030 : Quel programme d'action?* Paris : OCDE.
- . 2010. « Synthetic Biology ». <https://www.oecd.org/sti/emerging-tech/syntheticbiology.htm>.
- Organisation des Nations Unies (ONU). 2022. « COP15: le Secrétaire général n'attend rien de moins qu'un cadre mondial de la biodiversité pour l'après-2020 « radical », pacte de paix avec la nature ». <https://press.un.org/fr/2022/sgsm21619.doc.htm>.
- . s.d. « La Convention sur la diversité biologique, traité international pour un avenir durable ». Consulté le 2 octobre 2022. <https://www.un.org/fr/observances/biological-diversity-day/convention>.
- Oye, Kenneth A. et Rachel Wellhausen. 2010. « The Intellectual Commons and Property in Synthetic Biology ». Dans *Synthetic Biology : The Technoscience and Its Societal Consequences*. Sous la direction de Markus Schmidt, Alexander Kelle, Agomoni Ganguli-Mitra et Huib Vriend, 121-140. Dordrecht : Springer Netherlands.
- Pelletier, Guillaume. 2018. « La technique et le vivant en biologie de synthèse Réflexion sur l'actualité de Georges Canguilhem ». Mémoire de maîtrise, Université Laval. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/30006>.
- Perez, Alain. 2011. « La science explore les frontières du vivant ». *Les Échos*, 31 janvier 2011. <https://www.lesechos.fr/2011/01/la-science-explore-les-frontieres-du-vivant-386509>.
- . 2012. « Le vivant revisité par l'ordinateur ». *Les Échos*, 5 mars 2012. <https://www.lesechos.fr/2012/03/le-vivant-revisite-par-lordinateur-352587>.
- Pestre, Dominique. 2003. « Mettre les années 1870-1970 en perspective. Entre techno-science, industrie et État-nation ». Dans *Science, argent et politique*, 39-75. Paris : Quae.
- Pestre, Dominique et Christophe Bonneuil. 2015. « Le siècle des technosciences (depuis 1914) ». Dans *Histoire des sciences et des savoirs. Tome 3 : Le siècle des technosciences*. Sous la direction de Christophe Bonneuil et Dominique Pestre, 9-24. Paris : Seuil.

- Piffaretti, Alain. 2022. « Evry : Abolis reçoit 900.000 euros pour développer ses protéines de synthèse ». *Les Échos*, 2 février 2022. <https://www.lesechos.fr/pme-regions/ile-de-france/evry-abolis-recoit-900000-euros-pour-developper-ses-proteines-de-synthese-1384105>.
- Pireyre, Emmanuelle. 2016. *Thomas Heams - La Biologie de synthèse*. Entrevue avec Thomas Heams. *Remue.net*. <https://remue.net/Thomas-Heams-La-Biologie-de-synthese>.
- Programme des Nations-Unis pour le développement. 2022a. *Biologie de synthèse : Projet de décision présenté par le président du groupe de travail II*. Montréal : Programme des Nations-Unis pour le développement. <https://www.cbd.int/doc/c/2794/a66f/a5580df73126506d7fc4f7e8/cop-15-l-18-fr.pdf>.
- . 2022b. « Conférence Des Nations Unies Sur La Biodiversité (COP 15) ». ONU. <http://www.unep.org/fr/events/conference/conference-des-nations-unies-sur-la-biodiversite-cop-15>.
- Québec Science. s.d.a. « À propos - Québec Science ». Consulté le 8 décembre 2022. <https://www.quebecscience.qc.ca/a-propos/>.
- . s.d.b. « Québec Science - L'heure est à la science ». Consulté le 8 décembre 2022. <https://www.quebecscience.qc.ca/>.
- Raimbault, Benjamin, Jean-Philippe Cointet et Pierre-Benoît Joly. 2016. « Mapping the Emergence of Synthetic Biology ». *PLOS ONE* 11 (9) : e0161522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161522>.
- Ramognino, Nicole. 2013. « De la consistance du discours ». *Cahiers de recherche sociologique*, 54 : 183-202. <https://doi.org/10.7202/1025998ar>.
- Redford, Kent H. et William M. Adams. 2021. *Strange Natures : Conservation in the Era of Synthetic Biology*. New Haven : Yale University Press.
- Reworld Media Connect. s.d. « Science & Vie ». Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.reworldmediacollect.com/nos-marques/science-culture/sciencevie/>.
- Rheinberger, Hans-Jörg. 2008a. « Beyond nature and culture: modes of reasoning in the age of molecular biology and medicine ». Dans *Medical Anthropology*. Sous la direction de Cecil G. Helman, 19-30. Londres : Routledge.
- . 2008b. « What Happened to Molecular Biology? » *BioSocieties* 3 (3) : 303-310. <https://doi.org/10.1017/S1745855208006212>.

- Rivard-Boudreau, Émélie. 2020. « La pharmacopée de Mère Nature ». *Québec Science*, 11 avril 2020. <https://www.quebecscience.qc.ca/parteneriat/pharmacopee-mere-nature/>.
- Roosth, Sophia. 2017. *Synthetic: how life got made*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Rose, Nikolas. 2001. « The Politics of Life Itself ». *Theory, Culture & Society* 18 (6) : 1-30. <https://doi.org/10.1177/026327601220520>.
- Rose, Nikolas. 2007. *The Politics of Life Itself : Biomedicine, Power, and Subjectivity in the Twenty-First Century*. Princeton : Princeton University Press.
- Rowe-Pirra, William. 2020. « “Avec la biologie de synthèse, on saisira mieux la complexité de la cellule” ». *La Recherche*, 1 avril 2020.
- Sabourin, Paul. 2003. « L’analyse de contenu ». Dans *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données*, 5^e édition. Sous la direction de Benoît Gauthier, 415-444. Montréal : Presses de l’Université du Québec.
- Sacriste, Valérie. 2001. « Sociologie de la communication publicitaire ». *L’Année sociologique* 51 (2) : 487-498. <https://doi.org/10.3917/anso.012.0487>.
- . 2018. « Les usages de la publicité en sciences sociales ». *Études de communication*, 51 : 95-113. <https://doi.org/10.4000/edc.8181>.
- Schiele, Bernard et Louise Boucher. 2003. « L’exposition scientifique : une manière de représenter la science ». Dans *Les représentations sociales*. Sous la direction de Denise Jodelet, 429-447. Paris : Presses Universitaires de France.
- Schmitt, Rudolph. 2015. « Systematic Metaphor Analysis as a Method of Qualitative Research ». *The Qualitative Report* 10 (2) : 358-394. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2005.1854>.
- Schreck, Adam. 2008. « Solazyme Inks Algae Fuel Deal with Chevron ». *Toronto Star*, 22 janvier 2008. https://www.thestar.com/business/solazyme-inks-algae-fuel-deal-with-chevron/article_b395eff4-c37f-50b3-9d10-71d0cb6af304.html.
- Schyfter, Pablo. 2021. « Knowing Use: An Analysis of Epistemic Functionality in Synthetic Biology ». *Social Epistemology* 35 (5) : 475-489. <https://doi.org/10.1080/02691728.2020.1843198>.
- Schyfter, Pablo, et Jane Calvert. 2015. « Intentions, Expectations and Institutions : Engineering the Future of Synthetic Biology in the USA and the UK ». *Science as Culture* 24 (4) : 359-383. <https://doi.org/10.1080/09505431.2015.1037827>.

- Sciama, Yves. 2016. « La biologie synthétique fait son casting ». *Le Monde*, 14 novembre 2016. https://www.lemonde.fr/sciences/article/2016/11/14/la-biologie-synthetique-fait-son-casting_5030987_1650684.html.
- Science & Vie*. 2013b. « En avril 1913, le premier exemplaire voyait le jour : un siècle de “Science & Vie” ». 27 mars 2013. <https://www.science-et-vie.com/article-magazine/en-avril-1913-le-premier-exemplaire-voyait-le-jour-un-siecle-de-science-vie>.
- Science & Vie*. 2013a. « Êtres vivants vers une nouvelle compréhension ». 23 janvier 2013.
- Science & Vie*. 2013c. « OGM un potentiel de bio-services quasi illimité ». 23 octobre 2013.
- . s.d. « Science & Vie : premier magazine européen de l’actualité scientifique ». Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.science-et-vie.com/>.
- Science Pour Tous! 2012. « Quelques ressources ». https://www.sciencepourtous.qc.ca/pages/apropos/apropos_ressources/1131/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=qui-sommes-nous-quelques-ressources.
- Sciences et Avenir. s.d. « Sciences et Avenir, l’actualité des sciences ». Consulté le 10 décembre 2022. <https://www.sciencesetavenir.fr/>.
- Segal, Jérôme. 2003. *Le Zéro et le Un. Histoire de la notion d’information au XXe siècle*. Paris : Syllepse.
- Simard, Valérie. 2022. « À quand des plantes WiFi ? » *La Presse*, 12 novembre 2022. <https://www.lapresse.ca/maison/decoration/2022-11-12/a-quand-des-plantes-wifi.php>.
- Simons, Massimiliano. 2020. « The Diversity of Engineering in Synthetic Biology ». *NanoEthics* 14 (1) : 71-91. <https://doi.org/10.1007/s11569-019-00348-1>.
- Smolke, Christina D. 2009. « Building Outside of the Box: iGEM and the BioBricks Foundation ». *Nature Biotechnology* 27 (12) : 1099-1102. <https://doi.org/10.1038/nbt1209-1099>.
- Stevens, M. L. Tina et Stuart A. Newman. 2019. *Biotech Juggernaut: Hope, Hype, and Hidden Agendas of Entrepreneurial Bioscience*. New York : Routledge.
- Sunder Rajan, Kaushik. 2012. « Introduction. The Capitalization of Life and the Liveliness of Capital ». Dans *Lively Capital: Biotechnologies, Ethics, and Governance in Global Markets*. Sous la direction de Kaushik Sunder Rajan, 1-44. Durham : Duke University Press.

- Tamminen, Sakari et Eric Deibel. 2019. *Recoding Life : Information and the Biopolitical*. Abingdon : Routledge.
- Techno-Science.net. s.d. « Programme informatique - définition ». Consulté le 17 mars 2023. <https://www.techno-science.net/definition/5403.html>.
- Thacker, Eugene. 2001. « The Incorporate Bodies of Recombinant Capital ». *Dialectical Anthropology* 26 : 1-17. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1019954107882.pdf>.
- . 2006. *The Global Genome : Biotechnology, Politics, and Culture*. Cambridge : MIT Press.
- The Royal Society. s.d. « Synthetic biology ». Consulté le 15 juin 2022. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/synthetic-biology/>.
- Thomas, Frédéric. 2018. « Introduction. Le pouvoir de la biodiversité ». Dans *Le pouvoir de la biodiversité : néolibéralisation de la nature dans les pays émergents*. Sous la direction de Valérie Boisvert et Frédéric Thomas, 9-40. Marseille : IRD Éditions.
- Tordjman, Hélène. 2021. *La croissance verte contre la nature: critique de l'écologie marchande*. Paris : La Découverte.
- Turney, Jon. 2005. « The Sociable Gene ». *EMBO Reports* 6 (9) : 808-810. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400521>.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). 2023. « Presidential Green Chemistry Challenge: 2014 Greener Synthetic Pathways Award ». <https://www.epa.gov/greenchemistry/presidential-green-chemistry-challenge-2014-greener-synthetic-pathways-award>.
- Vaage, Nora S. 2020. « Living Machines : Metaphors We Live By ». *NanoEthics* 14 (1) : 57-70. <https://doi.org/10.1007/s11569-019-00355-2>.
- Veraart, Roel, Vincent Blok et Pieter Lemmens. 2023. « Ecomodernism and the Libidinal Economy: Towards a Critical Conception of Technology in the Bio-Based Economy ». *Philosophy & Technology* 36 (18). <https://doi.org/10.1007/s13347-023-00617-8>.
- Verdo, Yann. 2013. « Où en est la biologie de synthèse ? » *Les Échos*, 21 janvier 2013. <https://www.lesechos.fr/2013/01/ou-en-est-la-biologie-de-synthese-301284>.
- . 2015. « La nouvelle jeunesse des biocarburants ». *Les Échos*, 12 mai 2015. <https://www.lesechos.fr/2015/05/la-nouvelle-jeunesse-des-biocarburants-1106789>.

- Vernet, Agnès. 2017. « Des usines du vivant à la vie artificielle ». *La Recherche*, 1 mai 2017.
- Vicente, Paulo Nuno et Sara Dias-Trindade. 2021. « Reframing Sociotechnical Imaginaries : The Case of the Fourth Industrial Revolution ». *Public Understanding of Science* 30 (6) : 708-723. <https://doi.org/10.1177/09636625211013513>.
- Voigt, Christopher A. 2020. « Synthetic Biology 2020–2030: Six Commercially-Available Products That Are Changing Our World ». *Nature Communications* 11 (1) : 6379. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20122-2>.
- Waldby, Catherine. 2002. « Stem Cells, Tissue Cultures and the Production of Biovalue ». *Health* 6 (3) : 305-323. <https://doi.org/10.1177/136345930200600304>.
- Wynne, Brian. 2005. « Reflexing Complexity : Post-Genomic Knowledge and Reductionist Returns in Public Science ». *Theory, Culture & Society* 22 (5) : 67-94. <https://doi.org/10.1177/0263276405057192>.
- Zwart, H.A.E. 2018. « In the Beginning Was the Genome: Genomics and the Bi-Textuality of Human Existence ». *The New Bioethics* 24 (1) : 26-43. <https://doi.org/10.1080/20502877.2018.1438776>.