

Quappelle-t-on produireă?

Maël Montévil*

5 juin 2026

1 Introduction

Dans ce chapitre¹ et la section correspondante, nous interrogeons ce que signifie produire pour ce qui est de l'industrie. Il sagira cependant de prendre un certain recul par rapport à ce contexte, en passant par la physique, la biologie mais aussi la reproduction humaine.

Dans son article de ce livre,² Pierre Musso propose une étymologie pour *industrie*. Cette étymologie est celle généralement avancée. Elle repose sur le latin *struere* signifiant bâtir et qui a donné aussi structure et de *indo* qui signifie dans. Le sens de l'industrie serait donc dans le fait de donner une structure à quelque chose.³ Il existe cependant une autre étymologie, concurrente et aussi très suggestive : *industrie* viendrait de *str* et de sa racine proto-indo européenne *r*, qui signifie *năbrălerăz*, avec lidée d'être consommé par une activité frénétique.⁴

Cette étymologie permet de rendre compte de l'usage ancien du terme industrie, qui existe toujours en français, notamment pour parler d'animaux industriels comme les fourmis ou les hamsters. Cette idée d'une activité dévorante est pertinente aussi pour comprendre l'industrie et certains des problèmes quelle pose aujourd'hui.

En effet dans ce que lon appelle industrie aujourd'hui, lidée de structurer reste pertinente, mais elle rencontre aussi celle de passage à l'échelle, ou scalabilité, qui accompagne cette activité et qui semble bien essentielle pour penser l'industrie contemporaine. L'industrie concerne donc à la fois la question du passage à l'échelle et de la structureă: comment faire passer une activité structurante à l'échelleă?

C'est ici que nous devons nous pencher sur ce que signifie *produire*. En quel sens l'industrie produit-elle et en quel sens elle ne produit peut-être pas, ou fort peuă? L'étymologie du terme *produire* est, elle, plus simpleă: en latin, *producere* signifie *năconduire* en avantăz. Mais la question est alors en avant vers où ou vers quoiă? Et selon quels critères pourrait-on dire que l'industrie doit produire au cours du siècle à veniră? Produire suggère donc une finalité, et cette dernière va être, pour l'industrie, conditionnée par ses modalités de passage à l'échelle.

Je vais proposer un parcours à travers différentes disciplines de ce que peut recouvrir le terme produire, en commençant par la physique, en passant par la biologie, puis en revenant vers la technologie. L'objectif est d'examiner, à travers ces domaines, le sens de ce terme et de travailler les questions posées ci-dessus.

2 *Produire* en physique

Les premières disciplines que nous allons convoquer sont la physique et la chimie. Dans ces domaines, le terme *production* est relativement peu présent. Cette absence s'explique par deux raisons fondamentales. Tout d'abord, la connotation finaliste du terme de production est incompatible avec les sciences physiques modernes. De plus, mais les deux choses sont liées, la physique appréhende les phénomènes à travers l'invariance, ce qui signifie que si certaines choses changent, nous comprenons ces changements à travers un autre niveau où

*<https://montevil.org> Centre cavallès, République des Savoirs, UMR 8241, ENS - CNRS

1. Maël Montévil. *Quappelle-t-on produire ?* 02:55. 2024. URL : <https://iri-ressources.org/video-964.html?collection=2&season=75>.

2. Pierre Musso. *Généalogie des imaginaires des bifurcations industrielles en Occident*. 29:40. 2024. URL : <https://iri-ressources.org/video-963.html?collection=2&season=75#>.

3. Fernand Braudel. « III. Industrie et industrialisation ». In : *L'Identité de la France*. Les liens qui libèrent, 2009, p. 302-346.

4. Wiktionary. *industry* — Wiktionary, The Free Dictionary. [Online; accessed 7-April-2025]. 2025. URL : <https://en.wiktionary.org/w/index.php?title=industry&oldid=84036831>.

elles doivent rester inchangées. Ainsi, la production apparaît comme une notion secondaire ou marginale dans la structure des théories à une exception près que nous allons discuter.

Avant d'aborder cette exception, penchons-nous sur la chimie. Dans ce domaine, le terme production est bien plus présent. On parle notamment des produits d'une réaction chimique. Cependant, même si l'on distingue les réactifs d'un côté et les produits de l'autre, les réactions chimiques restent fondamentalement réversibles. La flèche qui relie les réactifs aux produits est, en principe, bidirectionnelle. Elle peut être fortement déséquilibrée, privilégiant un sens plutôt que l'autre, mais le principe de réversibilité demeure une propriété générale en chimie. Le fait de désigner les éléments d'un côté de la description comme produits et ceux de l'autre côté comme des réactifs provient d'une situation initiale qui n'est pas à l'équilibre et, en général, d'une finalité extérieure au processus chimique en tant que tel laquelle peut être biologique ou humaine.

En physique, il existe donc un usage fondamental du terme de production : la production d'entropie. L'entropie est la seule grandeur fondamentale introduite par la thermodynamique, qui n'est pas conservative et qui, dans un système isolé, ne peut qu'augmenter. La production d'entropie traduit la tendance d'un système à évoluer vers une configuration plus générique. Un système peut ainsi commencer dans un état microscopique spécifique par exemple, une concentration de fumée dans un coin d'une pièce, et va tendre vers un état plus uniforme, correspondant à un maximum d'entropie s'il est isolé. Insistons : la production d'entropie est distincte de l'augmentation d'entropie. L'entropie d'un système peut augmenter ou diminuer à cause des flux avec son environnement. Par contre la production d'entropie correspond à une croissance d'entropie qui ne vient pas de l'extérieur, et donc qui est une augmentation nette de l'entropie, et provient donc strictement du caractère non conservatif de l'entropie.

La production d'entropie est également ce qui confère un sens au temps. En mécanique classique, il n'y a pas de distinction entre progresser vers le futur ou remonter vers le passé. C'est la production d'entropie qui définit une flèche du temps. Autrement dit, c'est la production d'entropie qui permet de distinguer si un film ne contenant que des phénomènes abiotiques est projeté à l'envers ou à l'endroit même si certaines subtilités existent sur ce point.

La production d'entropie nous donne donc un premier sens de production qui soit substantiel dans les sciences de la nature. Il s'agit bien ici d'un aspect des processus physiques qui les mène à l'avant jusqu'au point même où il permet de définir ce que signifie l'avant dans cette discipline.

Éloignons-nous cependant temporairement de la production d'entropie pour aborder un autre aspect de cette discipline, notamment dans son lien avec l'expérimentation, la technique et la technologie. Nous constatons que les situations expérimentales en physique impliquent souvent une forme de production, dont la finalité est humaine.⁵ Une expérience consiste à recréer certaines conditions pour observer un phénomène. Ainsi, les phénomènes manipulés par la physique sont souvent générés *de novo*. Par exemple, il est possible d'allumer une bougie sans avoir besoin d'une autre bougie, simplement en produisant une étincelle. De manière générale, en générant certaines conditions, on peut obtenir des phénomènes reproductibles, analysables abstraitement, notamment à travers les mathématiques. Cette approche permet une compréhension collective des phénomènes, comme objets génériques, indépendants de leurs manifestations singulières.⁶

Insistons alors sur un paradoxe concernant l'entropie : le maximum d'entropie obtenu par un système isolé au cours du temps a pour condition de possibilité le maintien de ses conditions au bord, qui sont typiquement elle-même loin de l'équilibre thermodynamique.⁷ Par exemple, un gaz dans une boîte isotherme suppose l'existence de cette boîte, et donc sa production et son maintien. Nous reviendrons sur ce point dans le cas de la biologie.

Cette idée de constituer des phénomènes génériques et de les comprendre de manière systémique est au cœur même des productions industrielles. On retrouve cette approche dans les sciences de l'ingénieur : mécanique, cinématique, électrocinétique, etc. qui sont généralement des extensions (conservatives) de la physique. Ces disciplines ne modifient pas les principes fondamentaux de la physique, mais elles offrent des outils plus efficaces pour analyser et

5. Anton Robert. « Mathematical Descriptions as Pharmaka : On Their Adoption in Life Sciences ». In : *Mathematical Tools in the Life Sciences - Describing, Explaining, Understanding, and Operating*. Springer, 2025.

6. F. Bailly et G. Longo. *Mathématiques & sciences de la nature : la singularité physique du vivant*. Paris : Hermann, 2006 ; Maël Montévil. « Possibility spaces and the notion of novelty : from music to biology ». Anglais. In : *Synthese* 196.11 (nov. 2019), p. 4555-4581. ISSN : 1573-0964. DOI : [10.1007/s11229-017-1668-5](https://doi.org/10.1007/s11229-017-1668-5).

7. Anton Robert et Maël Montévil. « Unpacking the causal context of a phenomenon starting from its mathematical description ». In : *Tbd* (to be submitted).

optimiser des systèmes techniques particuliers. Plus généralement, la compréhension des phénomènes en tant qu'entités génériques s'applique aussi bien aux produits industriels qu'aux processus de production eux-mêmes, à partir de la rationalisation du travail. C'est cette approche qui rend la production de plus en plus automatisable. Une chaîne de production fonctionne de manière standardisée et reproductible pour fabriquer des objets aux propriétés standardisées, assurant un fonctionnement reproductible. Par exemple, la production d'un processeur doit conduire à un objet pouvant effectuer des calculs de manière fiable, et la chaîne de production d'une voiture doit conduire à un objet ayant des propriétés génériques tant pour ce qui est du fonctionnement de son moteur, de ses commandes et de son freinage dans un certain domaine de conditions.

Cette discussion nous permet de comprendre la nature du passage à l'échelle propre à l'industrie, dans son sens le plus classique. Cette dernière produit les objets un par un, de manière indépendante, sans avoir besoin d'un exemplaire préexistant pour en fabriquer un autre. Ainsi, dans une chaîne de production automobile, une voiture n'est pas nécessaire pour produire une autre voiture, par contre on va pouvoir augmenter la production en multipliant les chaînes *ad libitum*. De plus, tout enjeu de la productivité telle que définie économiquement consiste alors à accélérer ce processus et à optimiser la production par individu en réduisant autant que possible la part du travail humain. Pour cette raison, le passage à l'échelle de l'industrie est fondamentalement linéaire⁸

En un mot, donc, ce modèle repose sur la fabrication d'objets standardisés, conçus par des modèles théoriques génériques, et sur un processus linéaire conditionné par les moyens de production disponibles.

3 Production en biologie

En biologie, la notion de production renvoie à des concepts fondamentaux, mais leur contexte théorique diffère profondément de celui de la physique. Les régularités observées pour les objets biologiques, que nous appelons des contraintes, ne résultent ni de considérations théoriques ni d'une intention de conception. Elles émergent d'un double processus historique, comprenant l'évolution mais aussi le développement. Nous allons aborder trois concepts théoriques illustrant la spécificité du sens de production dans cette discipline.

3.1 L'auto-production

Le premier, qui constitue également un champ de recherche à proprement parler en biologie théorique, est celui illustré par le concept d'autopoïèse. Ce terme construit à partir du grec signifie littéralement auto-production. Selon la définition de Maturana et Varela, un système autopoïétique est un réseau de composants qui produit ces mêmes composants, et possède une membrane semi-perméable séparant un intérieur et un extérieur.⁹

Ici, le verbe produire revêt une signification inspirée de la chimie, dans une approche quelque peu réductionniste y compris vis-à-vis de la physique des matériaux, par exemple. C'est l'une des raisons, parmi d'autres, qui ont conduit Matteo Mossio et moi-même à théoriser à nouveau cette idée, associée à une longue tradition en biologie théorique, sous un angle différent : celui de la clôture entre contraintes.¹⁰

Avant d'aborder ce cadre théorique, il convient d'expliciter ce que l'on entend par contrainte, car celles-ci jouent un rôle théorique central. Une contrainte est symétrique par rapport à un processus donné pour lequel elle joue néanmoins un rôle causal. Par exemple, une enzyme est invariante par rapport à la réaction chimique qu'elle catalyse : elle n'est pas transformée, mais oriente le processus. De même, la topologie du système vasculaire constitue un invariant par rapport à la circulation sanguine, à l'échelle où ce phénomène est observé. Il est important de noter que les contraintes limitent les possibilités des processus correspondants, et en même temps elles les rendent possibles.

8. Notons cependant que globalement l'industrialisation a une dimension exponentielle au sens où une partie de ses productions est dévolue aux outils de production.

9. F.J. Varela, H.R. Maturana et R. Uribe. « Autopoiesis : The organization of living systems, its characterization and a model ». In : *Biosystems* 5.4 (1974), p. 187-196. ISSN : 0303-2647. DOI : [10.1016/0303-2647\(74\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0303-2647(74)90031-8).

10. Maël Montévil et Matteo Mossio. « Biological organisation as closure of constraints ». Anglais. In : *Journal of Theoretical Biology* 372 (mai 2015), p. 179-191. ISSN : 0022-5193. DOI : [10.1016/j.jtbi.2015.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.029).

Notons que ce concept peut être transposé aux domaines techniques.¹¹ Une canalisation est une contrainte pour la circulation de leau. De même, le matériel informatique (*hardware*) constitue des contraintes pour les logiciels qui y sont exécutés ainsi que les actions de l'utilisateur. Ces contraintes structurent des processus, tout en étant elles-mêmes maintenues par d'autres processus sous contraintes. Ici, la conceptualisation de la biologie est plus fine que celles de l'informatique. En effet, le logiciel et ses processus correspondent bien évidemment à des modifications matérielles. L'informatique est plutôt basée sur une hiérarchie de contraintes, certaines nécessitant une production en usine alors que d'autres peuvent être changées par l'utilisateur, grâce à l'invariance des premières qui définit la métastabilité contrôlée des mémoires informatiques.

Mais revenons à la biologie. L'idée de clôture entre contraintes est alors une reformulation théorique plus robuste de l'autopoïèse. L'organisme ne se contente pas de produire ses propres composants : il se maintient activement en assurant la persistance de ses propres contraintes, c'est-à-dire de ses invariants (relatifs). Ce concept est étroitement lié à celui de fonction biologique¹² et il éclaire la manière dont un organisme est organisé et se perpétue.

Ainsi, si l'on peut évoquer la fragilité du vivant dans le contexte de l'Anthropocène, cette notion n'est pertinente que dans une certaine mesure. Car si le vivant a certaines vulnérabilités,¹³ il est, d'un certain point de vue, bien plus durable que n'importe quel objet technique. Un objet technique, laissé à lui-même, se dégrade inexorablement : un artefact fragile se détériorera en quelques jours, tandis qu'un bâtiment pourra subsister plusieurs siècles, voire millénaires mais guère plus. Les lignées biologiques, en revanche, persistent depuis des milliards d'années. Cette durabilité repose sur leur capacité d'autoproduction par la clôture entre contraintes, mais aussi sur la capacité du vivant à changer, notamment dans l'évolution.

3.2 La reproduction

Ceci nous amène à la question de la reproduction, qui reprend de manière différente l'idée que le vivant se produit lui-même et que ceci est la condition de possibilité de son existence. Par la reproduction, les organisations biologiques se propagent au-delà du maintien des individus. Si un organisme pris individuellement a une durée de vie limitée même si certains atteignent plusieurs milliers d'années, c'est bien par la reproduction que les lignées biologiques perdurent sur des échelles de temps beaucoup plus grandes.

Le terme *reproduction* est problématique, notamment en raison des hésitations conceptuelles qu'il suscite. Darwin parlait de *descendance avec modification* (*descent with modification*),¹⁴ privilégiant donc le concept de descendance plutôt que celui de reproduction. Notons d'ailleurs que la terminologie du XIXe emprunte très largement aux structures sociales, ceci est vrai pour la descendance mais aussi pour le terme d'hérédité.¹⁵ La notion de reproduction se diffracte en plusieurs termes différents suivant le contexte. Ainsi, pour les cellules, on parle de prolifération, tandis que, pour les humains, le terme procréation est employé. Stuart Kauffman, théoricien de la biologie, utilise le concept de propagation afin d'insister sur l'idée d'une organisation qui se propage. Le terme réplique, quant à lui, s'applique strictement à l'ADN et ne concerne pas les organismes ou les cellules en tant que telles, bien que des confusions subsistent parfois entre réplique et reproduction. La reproduction ne consiste jamais en une simple copie du même, mais implique toujours des variations, parfois mineures, parfois significatives d'une génération à l'autre, ce qui se retrouve dans la notion de *descent with modification* de Darwin.

La question de la reproduction est également indissociable de la notion de cycle de vie. Celui des humains est relativement simple : reproduction sexuée, cellule-uf, développement,

11. Maël Montévil. « Il faut qu'il y ait en informatique théorique un symbole tel qu'il empêche de calculer ». FR. In : *Prendre Soins de l'informatique et Des Générations*. Sous la dir. d'Anne Alombert et al. Fip, nov. 2021. URL : <https://www.fypeditions.com/prendre-soin-de-linformatique-et-des-generations-hommage-a-bernard-stiegler/>.

12. Matteo Mossio, Maël Montévil et G. Longo. « Theoretical principles for biology : Organization ». Anglais. In : *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 (août 2016), p. 24-35. ISSN : 0079-6107. DOI : [10.1016/j.pbiomolbio.2016.07.005](https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2016.07.005).

13. Maël Montévil. « Disruption of biological processes in the Anthropocene : the case of phenological mismatch ». In : *Acta Biotheoretica* (2025). DOI : [10.1007/s10441-025-09496-2](https://doi.org/10.1007/s10441-025-09496-2). URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03574022>.

14. Charles Darwin. *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. London, 1859.

15. Gaëlle Pontarotti. « L'hérédité biologique, entre métaphore et théorie ». fr. In : *Cahiers philosophiques* N° 159.4 (2019), p. 111-126. DOI : [10.3917/caph1.159.0111](https://doi.org/10.3917/caph1.159.0111). URL : <https://doi.org/10.3917/caph1.159.0111>.

puis retour à la reproduction sexuée. Certains cycles sont toutefois bien plus complexes, et le notre nest en rien une norme. Le cycle de vie du parasite *Plasmodium*, conduisant à la malaria chez l'homme, est un tel exemple. Ce dernier peut se développer dans trois environnements distincts chez l'humain, le sang, les hépatocytes, dans le foie, et les globules rouges et trois autres dans le vecteur, la lumière de l'intestin, l'hémolymphe et les glandes salivaires soit six milieux différents à travers lesquels il a lieu tant une prolifération cellulaire par mitose qu'une reproduction sexuée. Dans chacun de ces milieux *Plasmodium* prend une forme distincte qui y est adaptée. Ainsi, en plus des variations, la reproduction ne consiste pas toujours à reproduire du similaire, mais peut aussi engendrer des formes très différentes en fonction des étapes du cycle de vie, tout en restant organisée.

Un principe fondamental en biologie est que la reproduction est re-production au sens où le vivant nécessite du vivant pour produire du vivant, et les vivants ainsi produits sont similaires. Ce principe est exprimé de manière explicite dans la théorie cellulaire par l'énoncé *omnis cellula e cellula*: toute cellule provient d'une cellule. Cette caractéristique distingue la morphogenèse biologique de la morphogenèse technique. Dans le domaine technique, la production se fait par agrégation. À l'inverse, la morphogenèse biologique chez les métazoaires et les métaphytes repose sur la prolifération cellulaire.

Nous avons mentionné que l'industrie repose sur un passage à l'échelle linéaire, qui peut être accéléré par l'investissement en capital et les changements techniques. Par la reproduction, le vivant, en revanche, suit une dynamique exponentielle. Darwin souligne ce phénomène dans ses carnets:

Chaque être vivant, même l'éléphant, se reproduit à un rythme tel qu'en quelques années, siècles ou millénaires, la surface de la Terre ne suffirait plus à contenir la descendance d'un seul couple.

Deux modalités du passage à l'échelle se distinguent donc:

1. Le mode industriel, caractérisé par une production linéaire, ou le facteur de linéarité va pouvoir être augmenté.
2. Le mode biologique, fondé sur la prolifération exponentielle

La prolifération exponentielle suggère que le vivant se reproduise plus rapidement que l'industrie ne produit, et cela est vrai sur le temps long. La production linéaire de l'industrie, cependant, permet de faire advenir très rapidement un grand nombre d'objets, par exemple un nouveau modèle, alors que la production par prolifération demande toujours au moins 10 générations pour passer d'une cellule à 1024 cellules. À court terme, la production industrielle peut être effectuée en parallèle ce qui n'est pas le cas de la reproduction.

3.3 La production d'anti-entropie

Un troisième concept, propre à la biologie, est la production d'anti-entropie.¹⁶ Pour en donner une première intuition, ce dernier correspond à peu près à la production de normes que le concept de normativité de Canguilhem implique.¹⁷ La production d'anti-entropie est analogue, mais aussi en partie inverse de la production d'entropie. Ce concept correspond à l'émergence de nouveautés biologiques définies de manière stricte: l'apparition de structures et d'organisations non seulement improbables, mais plus encore, non constituées comme possibles avant leur avènement.¹⁸

La production d'entropie transforme un état initial improbable en un état plus générique et donc plus probable. À l'inverse, la production d'anti-entropie implique de passer d'une certaine situation à une autre plus improbable, voire entièrement nouvelle. Toutefois, le résultat de cette production n'est pas simplement aléatoire. Elle s'inscrit dans une organisation qui assure sa propre persistance, notamment au sens de l'autopoïèse ou mieux, de la clôture entre contraintes.

À notre sens, la production d'anti-entropie introduit une seconde flèche du temps propre à la biologie, et qui s'ajoute à la flèche du temps issue de la production d'entropie. En effet,

16. Maël Montévil. « Entropies and the Anthropocene crisis ». In : *AI & SOCIETY* 38.6 (déc. 2023), p. 2451-2471. ISSN : 1435-5655. DOI : [10.1007/s00146-021-01221-0](https://doi.org/10.1007/s00146-021-01221-0). URL : <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01221-0>.

17. G. Canguilhem. *Le normal et le pathologique*. Paris : Presses Universitaires de France, 1972 ; Maël Montévil. « Normativité et disruption du vivant dans l'Anthropocène ». fr. In : *Georges Canguilhem, 80 ans après Le Normal et le Pathologique*. Sous la dir. de Pierre-Frédéric Daled, Mathias Girel et Nathalie Queyroux. Les rencontres de Normale Sup. Mai 2024. ISBN : 9782728808663. URL : <https://presses.ens.psl.eu/georges-canguilhem.html>.

18. Montévil, « Possibility spaces and the notion of novelty : from music to biology ».

la production d'anti-entropie, l'apparition d'une nouveauté, marque un avant et un après. Cet aspect est assez évident dans la vie humaine, ce n'est pas du tout la même activité de mettre au point, par exemple, la première voiture que de produire à nouveau ce modèle. Or une fois que la première voiture a été produite, elle peut être copiée, inaugurant donc un changement dans ce qu'il est possible de faire, et donc un avant et un après. Notons cependant que la flèche du temps physique correspond à une irréversibilité, qui peut être lu en deux sens. Tout d'abord, un système isolé, ne pourra revenir dans l'état précédant cette production, donc l'état initial devient inaccessible. Cependant, si un système est ouvert, il pourra revenir à son état initial ou le maintenir mais à condition de transférer l'entropie produite dans un autre système : l'entropie produite ne peut pas disparaître. Ce dernier concept d'irréversibilité ne s'applique pas à la production d'anti-entropie au sens où une nouveauté peut très bien être détruite par exemple dans la mort de son porteur, ou dans la disparition d'une lignée.

Le concept de production d'anti-entropie permet de soulever une question fondamentale concernant la reproduction. Nous avons mentionné que celle-ci n'est pas la simple duplication d'une organisation préexistante, elle comporte toujours des variations. Mais nous pouvons aussi aller plus loin et poser que la reproduction, et plus précisément le développement subséquent, implique la production d'anti-entropie. Certes dans le cadre néodarwinien, l'apparition de nouveautés biologiques nécessite plusieurs générations. Toutefois, des transformations significatives peuvent également se produire au cours du développement, un phénomène appelé accommodation phénotypique lorsque ceci se produit à la suite d'un changement du milieu de l'organisme concerné.¹⁹ L'idée de la production d'entropie comme constitutive du développement va plus loin, elle propose que ce qui est transmis d'une génération à l'autre est toujours incomplet vis-à-vis de l'organisation en développement, et qu'il y a donc toujours une dimension d'adaptation dans ce dernier. Cette perspective sur le développement est distincte de celle du programme génétique autant que de celle du développement comme étant un résultat combiné de lois physiques et de gènes.²⁰

En conclusion, trois formes de production structurent le vivant :

1. L'auto-production, au sens de la clôture entre contraintes, et qui permet aux organismes de différer leur mort.
2. La reproduction, qui permet aux vivants de survivre à leur mort.
3. La production d'anti-entropie, qui est opposée de la mort.

La première ne concerne que la capacité d'un être vivant à durer dans le temps, pour les deux autres la modalité de propagation est exponentielle.

4 *Production* et objets techniques

L'objectif est à présent de montrer que la technologie, ou du moins la technologie telle qu'on pourrait la souhaiter, doit articuler les deux logiques de passage à l'échelle : la logique industrielle classique, fondée sur un passage à l'échelle linéaire avec potentiellement un fort effet de levier, et la logique exponentielle propre au vivant, articulante à la question de la production d'anti-entropie.

Dans la production de masse, la modalité du passage à l'échelle repose sur l'utilisation d'objets génériques, qu'il s'agisse de l'industrie informatique ou de la fabrication d'automobiles. Ces objets génériques peuvent être pensés comme définis par des contraintes, au sens de la biologie. Leur rôle est de structurer des processus : ainsi, une voiture contraint la combustion du pétrole pour produire un mouvement contrôlé et ainsi transformer de l'essence en mouvements dans l'espace de personne et d'objets. De manière similaire, la chaîne de production est conçue de façon générique. Comme nous l'avons vu, dans le cas du logiciel, la matérialité diffère de celle d'un objet physique comme la voiture, mais la logique des contraintes reste la même : il s'agit de produire des contraintes, diffusées massivement auprès d'un grand nombre d'utilisateurs, leur permettant telle ou telle activité. Notons que, dans ce cas, la propagation peut être exponentielle si le déploiement passe par des technologies *peer to peer*, comme le torrent. Cette exception provient du caractère générique de la copie (n'importe quel ordinateur peut copier des données de taille raisonnable) et de son coût très bas.

19. Mary Jane West-Eberhard. « Phenotypic accommodation : adaptive innovation due to developmental plasticity ». In : *Journal of Experimental Zoology Part B : Molecular and Developmental Evolution* 304B.6 (2005), p. 610-618. DOI : <https://doi.org/10.1002/jez.b.21071>. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jez.b.21071>.

20. Stuart A Newman. « Physico-genetic determinants in the evolution of development ». In : *Science* 338.6104 (2012), p. 217-219. DOI : [10.1126/science.1222003](https://doi.org/10.1126/science.1222003).

Une question majeure, que lon peut aborder sous langle de la clôture entre contraintes, est celle du maintien des contraintes technologique. Tout objet, quil soit produit industriellement ou artisanalement, nécessite un entretien plus ou moins lourd, ou un maintien par remplacement. Dans tous les cas, le maintien est une fonction essentielle.

Derrière cette nécessité se trouve lidée classique du cycle de vie des objets. Toutefois, cette notion pose problème dun point de vue théorique. Les objets techniques sont davantage comparables à des (ensembles de) contraintes des parties dorganismes quà des organismes eux-mêmes. Or, seuls les organismes possèdent un cycle de vie, au sein duquel ils se reproduisent. Cette métaphore du cycle de vie appliquée aux objets techniques mérite donc être regardée avec un il critique. Le point de vue inspiré de la clôture entre contrainte nous amènerait plutôt à considérer les interdépendances entre objets techniques pour leur maintien, y compris par renouvellement. De plus, la métaphore du cycle de vie tend à minimiser limportance de la réparation, pourtant essentielle, et de la fonctionnalité, quelle laisse de côté.

La réparation est une activité nettement moins générique que la production, ou même que le recyclage. Elle est souvent peu industrialisée, bien que cela ne signifie pas quelle soit non-industrialisable. Pourtant, la question du maintien des objets techniques est omniprésente. Elle concerne aussi bien les machines, comme les lave-linges, que lhabitat, qui exige un entretien régulier sous peine de dégradation. Sans maintien, ces objets perdent leur capacité à remplir leurs fonctions à plus ou moins court terme. Cette question du maintien sapplique aussi aux logiciels, mais selon des modalités particulières. Pour les données, il est nécessaire dassurer leur conservation par des copies régulières, car les supports physiques, comme les disques durs, ont une durée de vie limitée. Mais un logiciel doit aussi être continuellement adapté aux évolutions des autres logiciels dont il dépend, à commencer par le système dexploitation. Comme les organes biologiques, les objets techniques demandent donc un maintien pour durer dans le temps.

Un second enjeu soulevé par la comparaison avec la biologie provient de lanti-entropie et de sa contrepartie dans le domaine technique, une question centrale chez Bernard Stiegler.²¹ Dans lapparition de nouveauté, il sagit de faire émerger du singulier, mais il ne sagit pas dun singulier quelconque ou dun simple agencement. Il ne suffit pas de générer une variation au sein dune grande combinatoire. Le singulier produit doit avoir un sens, que celui-ci soit fonctionnel ou dun autre ordre. Cette émergence du singulier exige du travail et du temps.

Ce rapport au temps se retrouve même, de manière intéressante, dans les usages dintelligences artificielles génératives. Lorsquun utilisateur emploie une IA comme ChatGPT pour produire un texte, ou une IA générative pour créer une image ou une vidéo, il doit effectuer des allers-retours avec le *prompt* afin dobtenir un résultat relativement satisfaisant. Ensuite, une retouche est souvent nécessaire, car le résultat de la génération est rarement totalement adéquat. Ce travail dexploration, de correction et dadaptation est incontournable.

Concernant la technologie, la question du design est centrale. Il ne faut toutefois pas perdre de vue ses différentes dimensions. Le design intervient à plusieurs niveaux, notamment celui de lingénieur, qui doit concevoir un objet ou un logiciel en veillant à sa fonctionnalité envisagée. Cette démarche implique la production dun artefact qui fonctionne dune manière spécifique et qui a du sens pour ses utilisateurs. Mais le design sintéresse aussi à lexpérience des utilisateurs et des consommateurs. Il peut parfois prendre une tournure pathologique, lorsquil se réduit à séduire un marché sans considération pour les fonctions réelles des objets. Dans ce cas, il peut aboutir à labsence même de fonctions autre que celle de son écoulement sur ces marchés, pour ce qui est du fabricant, à la jouissance de la consommation pour elle-même et pour son rôle social pour le consommateur, et à la rentabilité, parfois spéculative, pour le financier.

Pour les productions les plus intéressantes, une part significative du travail nécessaire à lémergence des singularités fonctionnelles nest pas réalisée par lindustriel, mais par les utilisateurs eux-mêmes. Ceux-ci adaptent les objets, logiciels ou autres artefacts techniques à des situations et contextes particuliers. Cela peut aller jusquà des détournements, où un objet est employé voire transformé dune manière non prévue par son concepteur.

La condition de possibilité pour ce complément à lobjet industriel est le savoir de celui

21. B. Stiegler et Maël Montévil. « Entretien sur l’entropie, le vivant et la technique : Première partie ». In : *Links series* 1 (2019). URL : <http://links-series.com/n-1-2-virtuel-et-biologie/> ; Maël Montévil et al. « Anthropocène, exosomatation et néguentropie ». In : *Bifurquer. Il n’y a pas d’alternative*. Les liens qui libèrent, juin 2020. Chap. 1, p. 57-80. ISBN : 9791020908575. URL : <http://www.editionslesliensquilibrent.fr/livre-Bifurquer-609-1-1-0-1.html> ; Bernard Stiegler. *Quappelle-t-on panser ? 2. La leçon de Greta Thunberg*. Paris : Les Liens qui Libèrent, 2020. ISBN : 979-10-209-0786-8.

qui le pratique, et qui peut être plus ou moins élaboré. Il sensuit un besoin crucial de savoirs permettant aux objets d'être réellement utiles et fonctionnels, dans des contextes donnés. Ces savoirs permettent aussi de limiter la toxicité que comportent toujours ces objets dans la perspective pharmacologique stieglerienne.

Globalement, on observe alors une surproduction de objets génériques du côté industriel et, inversement, une sous-production des savoirs indispensables à leur mise en œuvre effective. Ces savoirs sont pourtant essentiels pour mener à bien le processus de production d'anti-entropie, c'est-à-dire pour permettre et renforcer la fonctionnalité des objets et limiter leur impact négatif.

La production de ces savoirs exige du temps, des apports théoriques, des expérimentations et de la recherche. Cela conduit à la question de la recherche contributive, développée notamment dans le cadre du programme UNEJ de l'IRI, initié par Riward Salim et Giacomo Gilmozzi et actuellement poursuivi par Yanis Ratbi.²² L'objectif est ici de mettre en place un dispositif technique et social pour que les élèves de collèges et de lycées s'approprient la ville tout en s'appropriant aussi des outils de modélisation urbaine.

Le projet auquel j'ai contribué plus particulièrement, avec Marie-Claude Bossière, est la clinique contributive, qui travaille la question du smartphone et des autres écrans par rapport à la parentalité, et plus précisément à partir de leurs effets sur le développement des jeunes enfants.²³ L'enjeu a été de travailler à la constitution de nouveaux savoirs en s'appuyant sur des apports théoriques, les savoirs professionnels, et les expériences des participants.

La question qui se pose aujourd'hui, en lien avec l'industrie, est celle du passage à l'échelle de ces savoirs. Cette question est cruciale, car elle touche à des enjeux majeurs : des retards de développement, voire des risques de handicap pour les enfants surexposés aux écrans ou manquant d'interactions avec leurs parents. Or, la transmission des savoirs suit avant tout une dynamique exponentielle, qui passe d'abord par le pair-à-pair. Il est possible, sous certaines conditions, de passer par l'écrit, lequel peut être multiplié de manière industrielle, mais un savoir uniquement transmis par cette voie peut s'avérer plus fragile que celui qui passe aussi par des interactions directes.

Cette question du changement d'échelle a été expérimentée à Saint-Denis. Un premier passage à l'échelle a consisté à étendre le projet d'une localité très spécifique la PMI Pierre-Sémart de Saint-Denis à l'échelle de la ville, à travers un programme de formation intitulé *Raisonnons nos écrans*, qui se terminera cette année. L'idée a été de toucher des professionnels dans de nombreuses institutions pertinentes (PMI, crèches, animateurs, médiathèques,) ainsi que des parents de différents quartiers. Se pose ensuite le problème d'approfondir l'appropriation de cette question à l'échelle de la ville, mais aussi le passage à l'échelle nationale, qui ne peut plus reposer que sur le pair-à-pair, mais nécessite aussi des supports techniques. Cette question reste ouverte, et comme nous l'avons mentionné, nous sommes confrontés à la lenteur de l'exponentielle au début d'une dynamique.

En résumé, le travail d'appropriation permet, au moins dans certains cas, de fonctionnaliser la production industrielle, et ces deux composantes conjointement peuvent alors constituer une production d'anti-entropie. Cette production est alors en réalité une coproduction entre l'industriel et l'utilisateur. Or, cette coproduction est aujourd'hui insuffisante, faute d'une stratégie d'investissement dans le développement de ces savoirs et de pratiques qui permettent cette coproduction. L'économie contributive ouvre une piste pour remédier à ce manque. Mais cette dernière suppose un changement de perspective sur l'industrie : le passage à l'échelle par des objets génériques ne suffit pas, et une part essentielle du travail celle qui concerne leur appropriation et leur usage reste largement négligée. Il nous semble donc prioritaire de répondre au caractère incomplet de la production industrielle par rapport à la production d'anti-entropie.

Références

- Bailly, F. et G. Longo. *Mathématiques & sciences de la nature : la singularité physique du vivant*. Paris : Hermann, 2006.
- Bossière, Marie-Claude. *Le bébé au temps du numérique*. Paris : Hermann, 2021.

22. G. Gilmozzi. « Faire sens des données territoriales. Un autre exemple de technologie contributive : le serveur Minetest du projet Urbanités Numériques en Jeux (UNEJ) ». In : *Études Digitales* 17 (to appear).

23. Marie-Claude Bossière. *Le bébé au temps du numérique*. Paris : Hermann, 2021 ; Maël Montévil. « Disruptions du développement humain ». fr. In : *L'humain qui vient*. Sous la dir. de Raphael Zagury-Orly et Alain Fleischer. Sept. 2024. ISBN : 9791037040350.

- Braudel, Fernand. « III. Industrie et industrialisation ». In : *L'Identité de la France*. Les liens qui libèrent, 2009, p. 302-346.
- Canguilhem, G. *Le normal et le pathologique*. Paris : Presses Universitaires de France, 1972.
- Darwin, Charles. *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. London, 1859.
- Gilmozzi, G. « Faire sens des données territoriales. Un autre exemple de technologie contributive : le serveur Minetest du projet Urbanités Numériques en Jeux (UNEJ) ». In : *Études Digitales* 17 (to appear).
- Montévil, Maël. « Disruption of biological processes in the Anthropocene : the case of phenological mismatch ». In : *Acta Biotheoretica* (2025). DOI : [10.1007/s10441-025-09496-2](https://doi.org/10.1007/s10441-025-09496-2). URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03574022>.
- Montévil, Maël. « Disruptions du développement humain ». fr. In : *L'humain qui vient*. Sous la dir. de Raphael Zagury-Orly et Alain Fleischer. Sept. 2024. ISBN : 9791037040350.
- Montévil, Maël. « Entropies and the Anthropocene crisis ». In : *AI & SOCIETY* 38.6 (déc. 2023), p. 2451-2471. ISSN : 1435-5655. DOI : [10.1007/s00146-021-01221-0](https://doi.org/10.1007/s00146-021-01221-0). URL : <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01221-0>.
- Montévil, Maël. « Il faut qu'il y ait en informatique théorique un symbole tel qu'il empêche de calculer ». FR. In : *Prendre Soins de l'informatique et Des Générations*. Sous la dir. d'Anne Alombert et al. Fip, nov. 2021. URL : <https://www.fypeditions.com/prendre-soin-de-linformatique-et-des-generations-hommage-a-bernard-stiegler/>.
- Montévil, Maël. « Normativité et disruption du vivant dans l'Anthropocène ». fr. In : *Georges Canguilhem, 80 ans après Le Normal et le Pathologique*. Sous la dir. de Pierre-Frédéric Daled, Mathias Girel et Nathalie Queyroux. Les rencontres de Normale Sup. Mai 2024. ISBN : 9782728808663. URL : <https://presses.ens.psl.eu/georges-canguilhem.html>.
- Montévil, Maël. « Possibility spaces and the notion of novelty : from music to biology ». Anglais. In : *Synthese* 196.11 (nov. 2019), p. 4555-4581. ISSN : 1573-0964. DOI : [10.1007/s11229-017-1668-5](https://doi.org/10.1007/s11229-017-1668-5).
- Montévil, Maël. *Quappelle-t-on produire ?* 02:55. 2024. URL : <https://iri-ressources.org/video-964.html?collection=2&season=75>.
- Montévil, Maël et Matteo Mossio. « Biological organisation as closure of constraints ». Anglais. In : *Journal of Theoretical Biology* 372 (mai 2015), p. 179-191. ISSN : 0022-5193. DOI : [10.1016/j.jtbi.2015.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.029).
- Montévil, Maël et al. « Anthropocène, exosomatization et néguentropie ». In : *Bifurquer. Il n'y a pas d'alternative*. Les liens qui libèrent, juin 2020. Chap. 1, p. 57-80. ISBN : 9791020908575. URL : <http://www.editionslesliensquilibèrent.fr/livre-Bifurquer-609-1-1-0-1.html>.
- Mossio, Matteo, Maël Montévil et G. Longo. « Theoretical principles for biology : Organization ». Anglais. In : *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 (août 2016), p. 24-35. ISSN : 0079-6107. DOI : [10.1016/j.pbiomolbio.2016.07.005](https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2016.07.005).
- Musso, Pierre. *Généalogie des imaginaires des bifurcations industrielles en Occident*. 29:40. 2024. URL : <https://iri-ressources.org/video-963.html?collection=2&season=75#>.
- Newman, Stuart A. « Physico-genetic determinants in the evolution of development ». In : *Science* 338.6104 (2012), p. 217-219. DOI : [10.1126/science.1222003](https://doi.org/10.1126/science.1222003).
- Pontarotti, Gaëlle. « L'hérédité biologique, entre métaphore et théorie ». fr. In : *Cahiers philosophiques* N° 159.4 (2019), p. 111-126. DOI : [10.3917/caph1.159.0111](https://doi.org/10.3917/caph1.159.0111). URL : <https://doi.org/10.3917/caph1.159.0111>.
- Robert, Anton. « Mathematical Descriptions as Pharmaka : On Their Adoption in Life Sciences ». In : *Mathematical Tools in the Life Sciences - Describing, Explaining, Understanding, and Operating*. Springer, 2025.
- Robert, Anton et Maël Montévil. « Unpacking the causal context of a phenomenon starting from its mathematical description ». In : *Tbd* (to be submitted).
- Stiegler, B. et Maël Montévil. « Entretien sur l'entropie, le vivant et la technique : Première partie ». In : *Links series* 1 (2019). URL : <http://links-series.com/n-1-2-virtuel-et-biologie/>.
- Stiegler, Bernard. *Quappelle-t-on panser ? 2. La leçon de Greta Thunberg*. Paris : Les Liens qui Libèrent, 2020. ISBN : 979-10-209-0786-8.
- Varela, F.J., H.R. Maturana et R. Uribe. « Autopoiesis : The organization of living systems, its characterization and a model ». In : *Biosystems* 5.4 (1974), p. 187-196. ISSN : 0303-2647. DOI : [10.1016/0303-2647\(74\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0303-2647(74)90031-8).

West-Eberhard, Mary Jane. « Phenotypic accommodation : adaptive innovation due to developmental plasticity ». In : *Journal of Experimental Zoology Part B : Molecular and Developmental Evolution* 304B.6 (2005), p. 610-618. DOI : <https://doi.org/10.1002/jez.b.21071>. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jez.b.21071>.
Wiktionary. *industry* — *Wiktionary, The Free Dictionary*. [Online ; accessed 7-April-2025]. 2025. URL : <https://en.wiktionary.org/w/index.php?title=industry&oldid=84036831>.