



HAL
open science

Prendre soin des milieux

Nicolas Brault, Guillaume Carnino, Michel J.F. Dubois, Xavier Guchet, José Halloy, Laurent Heyberger, Nathalie Rodet-Kroichvili, Charles Lenay, Victor Petit, Pauline Picot, et al.

► **To cite this version:**

Nicolas Brault, Guillaume Carnino, Michel J.F. Dubois, Xavier Guchet, José Halloy, et al.. Prendre soin des milieux. Editions matériologiques, 2024, 978-2-37361-448-0. hal-04590726

HAL Id: hal-04590726

<https://hal.science/hal-04590726v1>

Submitted on 28 May 2024

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

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

Copyright

Sous la direction de
Mathieu Triclot

Prendre soin des milieux

Manuel de conception technologique

Nicolas Brault

Guillaume Carnino

Michel Dubois

Xavier Guchet

José Halloy

Laurent Heyberger

Nathalie Kroichvili

Charles Lenay

Victor Petit

Pauline Picot

Bénédicte Rey

Nicolas Simoncini

Pierre Steiner

Matthieu Tixier

Mathieu Triclot

Sous la direction de
Mathieu Tricot

Prendre soin des milieux

Manuel de conception technologique

Ouvrage publié avec le soutien du Groupe UT

2024
COLLECTION «ESSAIS»
ÉDITIONS MATÉRIOLOGIQUES

Collection «Essais», dirigée par Marc Silberstein

Extraits du catalogue

Robin Gordon Brown & James Ladyman, *Le Matérialisme. Bref parcours historique et philosophique*, 2023.

Roland Cash, *L'Expérimentation animale en question. Accélérer la transition vers une recherche sans animaux*, 2022.

Guy Chaussinand-Nogaret, *La Mettrie. Un philosophe pour notre temps*, 2022.

Jean-Hugues Barthélémy, *Ego Alter. Dialogues pour l'avenir de la Terre*, 2021.

Nicolas Brault & Michel J. F. Dubois, *Manuel d'épistémologie pour l'ingénieur.e*, 2021.

Véronique Le Ru, *Pour des milieux vivants partagés. Nouvelles réflexions sur l'universel*, 2021.

Fabrice Flipo, *L'Impératif de la sobriété numérique. L'enjeu des modes de vie*, 2020.

Véronique Le Ru, *Oser penser avec Émilie du Châtelet, D'Alembert, Poincaré... La distinction entre croire et savoir*, 2020.

Jean Rocchi, *Giordano Bruno. Précurseur des Lumières*, 2018.

Mathieu Triclot (dir.), Prendre soin des milieux

ISBN (papier) 978-2-37361-447-3 / eISBN (pdf) 978-2-37361-448-0 / ISSN 2427-4933

© Éditions Matériologiques, avril 2024.

44 rue Pelleport, F-75020 Paris

materiologiques.com / contact@materiologiques.com

PAO, corrections : Marc Silberstein

DISTRIBUTION LIVRES PAPIER : Éditions Matériologiques

DISTRIBUTION EBOOKS : Cairn

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français du copyright, 6 bis, rue Gabriel-Laumain, 75010 Paris.

Les Universités de Technologie de Compiègne, de Troyes, de Belfort-Montbéliard et l'Institut polytechnique LaSalle Beauvais, ont pris l'initiative en 2013 de se rassembler pour promouvoir le rôle des sciences humaines et sociales en environnement d'ingénierie. Au travers du Groupement d'Intérêt Scientifique Unité des Technologies et des Sciences de l'Homme (GIS UTSH), il s'agit d'affirmer la spécificité et l'importance de ces disciplines pour la formation des ingénieurs et techniciens, l'innovation et la recherche technologique.

Une telle initiative est motivée par le constat que la situation d'une recherche en sciences humaines et sociales dans le contexte de centres de recherche technologique comme les écoles d'ingénieur a un impact fort sur la structure, les méthodes et contenus mêmes de cette recherche. Cette recherche en situation technologique possède des objectifs multiples : se donner le phénomène technologique comme objet de recherche ; penser la technique et l'innovation ; participer directement à des projets de recherche et développement technologique. Toutes ces démarches posent le défi d'une originalité théorique et méthodologique pour le champ des sciences humaines et sociales. Elles renouvellent le pari exprimé par Guy Deniérou à la création de l'Université de Technologie de Compiègne : « un abord nouveau des humanités est possible à partir de la technologie et nous souhaitons en tenter l'expérience »¹.

En montrant la complexité des interactions entre usages, activités sociales et développements techniques, les disciplines des sciences humaines (histoire, philosophie, sciences économiques, sciences de gestion, sémiotique, sociologie, géographie humaine,

[1] Guy Deniérou, « Pourquoi créer une université à Compiègne ? », *Revue d'Information de l'Oise*, 1972, cité in Sacha Loeve, Timothée Deldicque, Pierre Steiner, « Éléments d'anthropologie des sciences humaines et sociales en univers technologique », *Cahiers Costech*, n° 1, mai 2017, p. 31.

anthropologie ou sciences cognitives) n'abandonnent en rien la rigueur de leurs questionnements intrinsèques, de leurs méthodes et de leurs histoires propres. Au contraire, en posant les questions du fait technique et de l'innovation au cœur de leurs recherches, elles se mettent en position de renouveler les problématiques fondamentales de leurs disciplines. En même temps, ces travaux favorisent la mise en place d'un dialogue interdisciplinaire fécond, des sciences humaines entre elles, mais aussi étendu aux sciences de l'ingénieur comme en témoigne cet ouvrage.



Bureau de direction actuel : Charles Lenay - UTC (directeur), Xavier Guchet - UTC, Matthieu Tixier - UTT, Pascal Salembier - UTT, Mathieu Triclot - UTBM, Nicolas Simoncini - UTBM, Michel Dubois - UniLaSalle, Nicolas Brault - UniLaSalle.

[Remerciements]

L'étincelle de ce projet de manuel trouve notamment sa source dans l'organisation du colloque « Les sciences humaines et sociales en recherche technologique » au Centre Culturel International de Cerisy en 2019 (<https://cerisy-colloques.fr/recherche-technologique2019/>) par le GIS-UTSH.

Le GIS UTSH a été le creuset d'un dialogue pluridisciplinaire à la fois riche et rare en ampleur où se sont croisés design et conception, histoire et technologies, humanités numérique et patrimoine ou encore les notions de care et d'agrotechnies.

Les idées développées dans le cadre de ce livre doivent beaucoup aux échanges et débats nourris durant ces quelques journées avec les participants que nous souhaitons vivement remercier ici : Nicolas Nova, Véronique Maire, Emeline Eudes, Jacques Theureau, Charles Lenay, Anne Guénand, Nathalie Kroichvili, Xavier Guchet, Gaël Guilloux, Jean-Philippe Pierron, Timothée Deldicque, Sacha Loeve, Lilianne Hilaire-Perez, Pascal Brioiest, Catherine Verna, Delphine Spicq, Guillaume Carnino, Aurore Stéphant, Cecilia Calheiros, Arnaud Saint-Martin, Lambros Malafouris, Pierre Steiner, Georges Guille Escuret, Séverine Lagneaux, Rémi Laurent, José Halloy, Michel Dubois, Loïc Sauvée, Matthieu Tixier, Pascal Salembier, Mehdi Jaber, François Stuck, Marina Gasnier, Sylvain Laube, Florent Laroche, Sébastien Rémy, Alexandre Durupt, Andrew Feenberg, Mathieu Triclot, Bernard Stiegler, Brice Roy, Victor Petit, Gaele Garibaldi, Renaud Mignerey, Daniel Schmitt, Khaoula Lassoued, Virginie Blondeau, Marine Thébault, Sylvie Leleu-Merviel, Franck Gechter, Bénédicte Rey, Jean-Baptiste Haue, Aurélie Daanen, Zoé Bonnardot, François Palaci, Geneviève Filippi, Florence Bazzaro, Denis Choulier, Marjorie Charrier, Thierry Chanard, Fabienne Seppey, Valentin Berthou, Didier Fass, Serge Bouchardon, Stéphane Grès, Vincenzo Raimondi, Yannick Lecherbonnier, Sébastien Augier (avec une pensée toute particulière pour la captation et l'installation « le Confessionnal »), Maël

Montevil, Emilien Dereclenne et Benoît Sijobert. Un grand merci également à toutes celles et tous ceux qui ont assisté et croisé les séminaires du GIS-UTSH depuis 2013.

Bien sûr, les idées et les positions élaborées dans ce manuel ont pu sensiblement évoluer et bifurquer au fil des années qui se sont écoulées depuis le colloque et à ce titre elles n'engagent que le comité de rédaction et les adhérents du GIS-UTSH. Nous espérons surtout que les participants garderont un excellent souvenir de ce moment unique et seront heureux de lire ici une émanation de ce colloque qui a été pour tous, nous l'espérons, particulièrement génératif.

Concevoir, c'est prendre position, produire des réalités nouvelles qui auront inéluctablement des connexions et effets sur une pluralité de milieux. Les ingénieurs, qu'ils le veuillent ou non, conçoivent en fonction de valeurs. Toute activité de conception implique de prendre position, dans le souci des multiples normes qui s'entrelacent au sein des milieux, sans qu'il soit forcément aisé d'anticiper au départ les conséquences que produit en cascade l'introduction de nouvelles technologies.

Élaboré par un collectif d'enseignants-chercheurs en sciences humaines et sociales, issu notamment des Universités de Technologie, il est destiné en premier lieu aux étudiants ingénieurs. Cette autre manière d'aborder la conception technologique, informée par la complexité des effets de milieux, correspond à une demande majeure des étudiants, qui se vivent au pied du mur écologique et démocratique. Il s'agit désormais de «mettre les mains dans le cambouis», de s'engager concrètement dans les transformations de la technique et de fournir des outils pour rediriger l'action humaine dans ses milieux. Pour ce faire, il est impératif de renouveler les savoirs et démarches mobilisés en conception.

Un manuel n'est pas un manifeste : notre objectif n'est pas tant d'offrir une énième position de surplomb critique sur le développement technologique, mais plutôt de transformer concrètement les manières de faire en ingénierie, de mettre sur la table un autre modèle de conception, orienté par le soin des milieux naturels et humains. Pour cela, il est nécessaire de repenser de fond en comble l'approche des terrains de conception, mais aussi de la technologie elle-même et de rompre avec des prénotions – les différentes formes de solutionnisme technologique, l'acceptabilité, l'automatisation – qui font obstacle à la prise en compte de la complexité de l'intervention technologique.

Le manuel n'est pas non plus un mode d'emploi, au sens où il suffirait d'appliquer des procédures toutes faites. La notion de milieu

implique de rompre avec la promesse d'une maîtrise complète des processus. Elle oriente vers un type de savoir «prudentiel», fondé sur des maximes destinées à guider l'action, en respectant la nécessité de démarches ouvertes à l'expérimentation et à un certain pragmatisme. La reconnaissance d'un débordement de la conception par les «effets de milieux», d'une absence de maîtrise, de l'existence d'un incalculable dans le développement technologique, ne signifie pas le renoncement à connaître, mais plutôt une mutation des savoirs pour anticiper ce qu'on ne peut pas strictement calculer. Il s'agit ainsi de rouvrir les connexions entre technologie, sciences humaines et sociales, sciences du système Terre, sciences du vivant.

La forme du manuel induit un type de rédaction des chapitres qui comportent systématiquement trois ingrédients : la présentation de maximes pratiques, qui doivent former des «arts de faire» technologiques et orienter l'activité ; ces maximes sont fondées sur une refonte des notions employées pour penser le déploiement technologique, de façon constructive avec des notions nouvelles ou à réinvestir, à commencer par celle de «milieu», mais aussi de manière critique, en pointant des notions qui sont autant d'obstacles technologiques bornant le regard, à commencer par celle de maîtrise ; enfin, maximes et notions sont toujours appuyées sur des études de cas, issues de la littérature en histoire des sciences et techniques, des études «sciences, techniques et société» ou des projets concrets.



L'ouvrage est divisé en quatre parties. Un premier ensemble (partie I. **Les milieux pour la conception**) de trois chapitres sert d'introduction, focalisée sur la notion de milieu et les clivages qu'elle introduit pour comprendre les effets des techniques. Il s'agit de :

- chapitre 1. **De l'oubli des milieux aux échecs de conception**
- chapitre 2. **«Milieu» : portrait d'une notion**
- chapitre 3. **Technologies du milieu versus ingénierie de l'environnement**

Un deuxième ensemble (partie II. **Concevoir par les milieux**) de quatre chapitres présente des synthèses issues de plusieurs domaines de savoirs pour nourrir une approche de la conception «par les milieux» : de l'histoire des techniques aux sciences cognitives, en passant par les sciences du système Terre et les philosophies de la constitutivité technique. Il s'agit de :

- chapitre 4. **Le milieu des milieux : limites planétaires**
- chapitre 5. **Historicité des trajectoires technologiques**
- chapitre 6. **La constitutivité technique : enjeux théoriques**
- chapitre 7. **La constitutivité technique : approche expérimentale**

Deux chapitres présentent ensuite une série de démarches pour enquêter dans les milieux et anticiper les effets des technologies. Il s'agit de la partie III. **Chemins de la conception :**

chapitre 8. **Aller à la rencontre des milieux par l'enquête**

chapitre 9. **Anticiper la constitutivité : observer, tâtonner, risquer**

Enfin, les cinq derniers chapitres (partie IV. **Concevoir pour les milieux**) reviennent sur la question des normes et de l'évaluation pour dresser le tableau d'une forme de conception « pour les milieux ». Il s'agit de :

- chapitre 10. **Évaluation, valeurs, valuation**
- chapitre 11. **Des technologies zombies aux technologies vivantes**
- chapitre 12. **La technodiversité en question**
- chapitre 13. **Déprolétarianisation et savoir-faire**
- chapitre 14. **L'éthique, l'ingénieur et le *care*.**

Partie I

Les milieux pour la conception

De l'oubli des milieux aux échecs de conception

Mathieu Tricot

Pourquoi faudrait-il se préoccuper des milieux dans la conception ? À quoi bon ajouter cet impératif supplémentaire ? La première raison tient à l'expérience des échecs. Non seulement, il est possible d'attribuer nombre d'échecs de conception à des « effets de milieux » qui n'ont pas été pris en compte, mais les milieux sont aussi ce qui se révèle dans l'échec ou la déception : ça ne marche pas ou « ça ne prend pas », l'invention reste sur l'étagère... alors que toutes les parties prenantes ont toujours dit « oui » au long du processus. Mais pourquoi ? C'est à partir de ce genre d'énigme, si courante, dans les situations de conception, que l'on peut se mettre en quête de milieux. Le milieu résiste, renâcle et s'impose par frictions.

Dans une formule célèbre, le philosophe Gaston Bachelard, affirmait qu'en science, « il ne saurait y avoir de vérité première. Il n'y a que des erreurs premières ». Adoptons un même genre de bachelardisme pour la technologie : « La première et la plus essentielle fonction de l'activité du sujet est de se tromper. [...] L'expérience est très précisément le souvenir des erreurs rectifiée » (Bachelard 1934, p. 23). En conception, ce principe ne surprendra pas grand monde. Il s'agit d'un des mots d'ordre parmi les mieux partagés : « *Fail fast, fail often* » (Babineaux & Krumboltz 2013). Commençons donc par tirer les leçons de quelques échecs, parmi les plus spectaculaires auxquels on puisse penser.

Ce chapitre raconte trois histoires édifiantes d'échecs, à des échelles diverses, comme autant de vignettes avec lesquelles réfléchir. Entendons-nous sur la notion d'échec. Dans nos histoires, il

ne s'agit pas de prototypes oubliés dans les cartons ou de technologies *vaporware*, ces produits fantômes, toujours annoncés, jamais réalisés, pur *bullshit* commercial. À chaque fois, les dispositifs sont déployés, les architectures construites, les budgets consommés. Retenons cependant, à minima, que, dans nos trois histoires, les promesses initiales n'ont pas été tenues. Mieux, il y a, à chaque fois, une forme de surprise dans l'échec de la promesse. C'est cette surprise qui fait toute la morale de l'histoire. La trajectoire de conception prévue dévie, comme si elle était rattrapée par des effets de milieu qui l'envoient droit dans le mur.

Ce sont trois histoires, parmi tant d'autres possibles. Nous sélectionnons celles-ci parce qu'elles nous semblent particulièrement spectaculaires, parfois même divertissantes, à chaque fois bien documentées, et propres à alimenter notre passion pour l'erreur : «plus complexe sera son erreur, plus riche sera son expérience», dit encore Bachelard.

Le mode d'emploi de ce chapitre est le suivant : commençons par écouter le récit de la promesse et prenons le temps d'essayer de deviner par où est-ce que cela a pu mal tourner. Dans une seconde partie du chapitre, nous présentons l'analyse de chaque situation. Gardons en tête ces questions pour mettre à profit les cas : quoi de commun entre les récits ? Quoi de différent ? Par où s'invitent les milieux ?

1] Il était une fois trois échecs...

1.1] Première histoire : un portable sur la tête

Notre première histoire est un des plus beaux exemples de projets techno-utopiste de la seconde moitié des années 2000. À une époque où le NASDAQ, la bourse des valeurs technologiques, commence tout juste à se remettre de l'éclatement de la bulle internet et où un vent d'optimisme nouveau se lève sur la tech. Il s'agit du programme *One Laptop per Child* (OLPC), initié par Nicholas Negroponte, ancien directeur du prestigieux Media Lab du MIT et soutenu par des géants de l'informatique et des communications, comme Google, AMD, News Corporation (le groupe de média de Rupert Murdoch), Ebay, Marvell Technology, Nortel, etc., sans oublier les Nations unies elles-mêmes.

La promesse est absolument maximale : «éliminer la pauvreté, créer la paix et agir pour l'environnement» (Ames 2019, p. 18). Il

s'agit de distribuer, comme le nom l'indique, un ordinateur portable par enfant dans les pays en voie de développement. L'ordinateur, dénommé XO, doit pallier l'absence ou la déliquescence des systèmes d'éducation. Dans les mots de ses concepteurs, le projet OLPC est un hack, «un cheval de Troie en forme d'ordinateur portable» (Ames 2019, p. 104) L'éducation est la clé de tout. Et l'ordinateur est la clé de l'éducation.

Le design est ambitieux et captivant. Il s'agit de produire une machine à bas coût, même si la barre des 100 \$ initialement avancée ne sera jamais atteinte. Cette machine doit être robuste : clavier, écran mais aussi connecteurs sont protégés lorsque la machine se referme par une bande de caoutchouc. Un des clous du spectacle dans les démonstrations techniques consiste à jeter l'ordinateur au sol ou à l'asperger d'eau ou de terre et à constater qu'il fonctionne toujours aussi bien. La machine tourne avec des logiciels libres et le projet recrute des communautés de développeurs chevronnés dans le monde entier. Le design est ludique : la machine a une poignée pour être transportée sur la route de l'école, les antennes pour le réseau forment deux petites oreilles sympathiques, et le logo reprend sous forme stylisée la posture d'un enfant qui lève les bras au ciel de joie.

Deux caractéristiques techniques attirent particulièrement l'attention et captivent l'imagination. La première est la présence d'une manivelle, dévoilée avec le premier prototype auprès de Kofi Annan, le secrétaire général des Nations unies, lors du Sommet mondial pour la société de l'information à Tunis en 2005 (figure 1). Cette manivelle se loge à l'intérieur de la coque et permet de recharger l'ordinateur à la main pour le faire fonctionner n'importe où, même là où il n'y a pas de prise électrique ! (figure 2) La machine est certes peu puissante, mais elle est économe en énergie. La deuxième caractéristique enthousiasmante est la présence d'un réseau maillé, un *mesh network*, chaque machine servant de relai de proximité pour les autres. Ainsi, il suffit qu'une machine ait accès à internet quelque part pour diffuser le réseau de proche en proche vers les autres machines éloignées de l'infrastructure.

La promesse est de diffuser la machine dans le monde entier. Dans sa conférence TED de 2008, Negroponte annonce des accords avec treize pays, dont la Libye – «C'était vraiment marrant de



FIGURE 1. Nicholas Negroponte monte à Kofi Annan, le secrétaire général de l'ONU, le premier prototype de XO à manivelle : photographie présentée dans les diapositives de la conférence TED de Nicholas Negroponte du 27 juin 2008 (https://www.youtube.com/watch?v=y_TKjfgjiQs).

FIGURE 2. Un jeune garçon expérimente avec son XO à Artiguas en Uruguay en 2010 (CC BY 2.0: One Laptop Per Child).



rencontrer Khadafi dans sa tente, mais les chameaux sentent vraiment mauvais.» L'objectif annoncé est que l'OLPC représente «20 % de la production mondiale d'ordinateurs dès l'année suivante» jusqu'à toucher 100 millions d'«enfants chanceux» de par le monde (Negroponte 2008).

Au-delà des chiffres, la promesse qui résume le mieux le projet est sans doute celle de livrer les ordinateurs par hélicoptère : «On prendra les ordinateurs et on les lancera par hélicoptère sur les

villages qui n'ont ni électricité, ni école. Et on reviendra un an plus tard pour voir si les gamins savent lire» (Thomson 2011). Après tout, la machine est suffisamment robuste pour résister à une chute de dix mètres. Et pas besoin d'électricité grâce à la manivelle ou à la batterie solaire intégrée dans les versions ultérieures. Il est difficile de ne pas penser ici au scénario du film *Les Dieux sont tombés sur la tête*, où une tribu de Bushmen, en plein désert du Kalahari, reçoit une bouteille de Coca-Cola jetée négligemment d'un avion.

Visualisons notre enfant muni de son ordinateur tombé du ciel. Prenez le temps d'imaginer comment les choses pourraient se passer. Notez vos hypothèses. Nous les comparerons ensuite au compte-rendu passionnant que donne la sociologue Morgan Ames de la réception, cette fois-ci au ras du sol, de l'OLPC au Paraguay.

1.2] Deuxième histoire : milieux sous cloche

Notre deuxième histoire débute le 26 septembre 1991 : huit «biosphériens», à parité femmes et hommes, débutent un voyage immobile qui doit durer deux ans (figures 3 & 4). Ils vont se couper du monde pour vivre en autonomie dans une immense structure appelée Biosphere 2, construite dans le désert de l'Arizona, qui reproduit à l'identique cinq environnements ou biomes naturels – désert, savanes, mangrove, forêt amazonienne, jusqu'à un océan miniature avec son récif corallien - et deux environnements humains –, une ferme et des quartiers d'habitations. Dans le vocabulaire du projet, Biosphere 2 est la réplique artificielle de Biosphere 1, notre Terre.

Le bâtiment est une prouesse technique. L'ensemble du complexe s'étend sur plus d'un hectare, avec une immense pyramide de verre, des structures inspirées des dômes géodésiques de l'architecte Buckminster Fuller. Il a fallu trouver comment chasser la moindre fuite d'air dans cette structure de verre et d'acier, mais aussi traquer les résidus de gaz libérés pendant la construction, tout en assurant les conditions techniques du maintien artificiel des écosystèmes. Des biologistes ont participé aux côtés des ingénieurs à la construction de ces écosystèmes en conserve, en choisissant avec soin les espèces, en reconstituant l'ensemble des chaînes alimentaires à la recherche de la soutenabilité, mais aussi en assurant les conditions climatiques nécessaires à chaque biome. Le défi le plus impressionnant est la construction de l'océan miniature, avec son



FIGURE 3. Les huit membres de la première expédition lors de la phase finale de la construction du complexe en 1990 (CC BY-NC 2.0 : Science Photo Library).

récif corallien, qui suppose de produire artificiellement les vagues nécessaires à l'écosystème. Le bâtiment est même doté d'une sorte de poumon artificiel qui permet à la structure de "respirer" en modifiant son volume en fonction des fluctuations de la température de l'air intérieur.

L'ensemble forme un mélange inextricable de nature et de technique, bourré de capteurs, pour éviter le moindre dérapage. Les promoteurs ont conscience de la fragilité de l'entreprise : le moindre déséquilibre, en matière de température, de concentration de CO_2 , d'acidité dans l'océan miniature, conduirait rapidement à la catastrophe. Or, et c'est le défi, les biosphériens doivent démontrer qu'ils peuvent survivre deux ans dans cet environnement intégralement reconstitué, en produisant l'intégralité de leur nourriture, en recyclant l'ensemble des déchets et en maintenant l'équilibre global du système, dans l'idéal d'une économie parfaitement circulaire. Et, si possible, sans s'entretuer entre-temps.

Financé par le milliardaire Ed Bass et porté par l'ingénieur John Allen, devenu passionné d'écologie des systèmes, mais aussi drama-



FIGURE 4. Vue du complexe Biosphere 2, avec les quartiers d'habitations et le «poumon» de la structure (CC BY 2.0: DrStarbuck).

turge à ses heures perdues, et animateur d'un ranch techno-hippie, le projet se situe sur une frontière floue entre science et spectacle. Ce qui lui sera constamment reproché et alimentera conflits et campagnes de presse. On pourrait considérer Biosphere 2 comme l'équivalent pour le XX^e siècle du célèbre canard de Vaucanson au XVIII^e siècle. Le canard était la réplique automatique de l'animal, reproduisant aussi bien le mouvement externe des ailes, que le mouvement interne de la digestion. La machine était à la fois «validée» par l'autorité de l'Académie des sciences et destinée à être exposée dans les plus grandes foires d'Europe (Doyon & Liaigre 1966). Ce que le fameux canard réalisait à l'échelle de l'organisme, c'est-à-dire la réplique artificielle des fonctions du vivant, Biosphere 2 le réalise à l'échelle du système Terre. Et dans un cas comme dans l'autre, la transmutation du vivant en machine génère une immense fascination. Les baies vitrées du complexe permettent de voir à l'intérieur de la structure. Les visiteurs se sont pressés pour contempler les biosphériens au travail dans leur bulle. Au point que le complexe est devenu la deuxième attraction touristique, en nombre de visiteurs, de l'Arizona, derrière le grand Canyon.

Sur le plan scientifique, l'expérience présente un double enjeu. Il y a, d'une part, un enjeu d'écologie théorique : le bâtiment permet l'étude, dans des conditions contrôlées, de l'évolution de ces écosystèmes techno-naturels. Mais il y a aussi, d'autre part, une seconde problématique, massive, liée à la conquête spatiale et aux voyages habités. Sommes-nous capables de reconstruire, à partir de rien, dans un milieu clos, des conditions de vie soutenables sur la longue durée ? Le problème de Biosphere 2 est celui de la colonisation de Mars ou du voyage spatial. Le projet se distingue par son ampleur : contrairement à ce que faisaient jusqu'ici les Russes ou la NASA, il ne s'agit plus d'expérimenter dans des environnements restreints, intégralement techniques, dont les sources d'alimentation sont limitées à la culture d'algues (lesquelles servent aussi à la filtration de l'air)¹. Il s'agit de tenter l'expérience avec une multitude d'écosystèmes, en tablant sur les effets de stabilisation de ces différents biomes. Les concepteurs revendiquent cette rupture : il s'agit de rompre avec la science normale, analytique, pour expérimenter une nouvelle approche holistique du problème.

Le 26 septembre 1991, nos huit biosphériens pénètrent donc la bulle, vêtus de tenues qui ne dépareilleraient pas dans la série *Star Trek*. Ils prononcent un petit discours devant la foule de curieux venus assister à l'évènement et s'enferment pour deux ans, avec un stock de graines à planter, quelques poules, chèvres et cochons.

Qu'est-ce qui aurait bien pu mal tourner ? Prenez le temps de formuler quelques hypothèses.

1.3] Troisième histoire : techniques de la justice sportive

Notre troisième histoire concerne un sujet plus familier. Le 18 novembre 2009, à la 103^e minute du match qui oppose la France à l'Irlande, l'attaquant français Thierry Henry dévie de la main le ballon pour le défenseur William Gallas qui marque de la tête. Cette action assure la qualification de l'équipe de France à la Coupe du monde et disqualifie les Irlandais qui avaient dominé la rencontre. L'injustice est totale. Les Français exultent, les Irlandais se ruent sur l'arbitre. Le but est validé. Si les téléspectateurs ont pu revoir l'action au ralenti, sous toutes les coutures, ce n'est pas le cas de l'arbitre de la rencontre, le Suédois Martin Hansson, persuadé

[1]Le jeu vidéo *Oxygen not included* (Klei Entertainment, 2019) est une bonne façon d'expérimenter avec ce problème de la survie en milieu clos.

d'avoir pris la bonne décision. Si Hansson avait eu accès à la vidéo, le but n'aurait jamais été accepté (figure 5).

Cet épisode est un des moments clés de l'histoire de l'adoption de l'arbitrage vidéo (VAR pour *Video Assistant Referee*) dans le football. L'enjeu est maximal, la faute est évidente et la controverse qui s'ensuit est monumentale. En dépit des pétitions, la FIFA refusera de rejouer le match. Au sein des instances du football, les partisans de la VAR gagnent du terrain. Après tout, l'arbitrage vidéo est déjà en vigueur dans nombre de sports : rugby, tennis, escrime, hockey, football américain, baseball, cricket, etc. En 2010, la fédération néerlandaise propose une réforme des lois du jeu pour intégrer la vidéo, qui est testée localement lors de la saison 2012-2013. En 2016, décision est prise par l'IFAB (*International Football Association Board*), l'organisme chargé des lois du jeu, de lancer l'implémentation de la VAR. L'inclusion dans les championnats majeurs a lieu à partir de la saison 2018-2019.

Le terme lui-même est trompeur. L'usage fait dire «la VAR», comme s'il s'agissait d'un dispositif technique autonome, alors qu'il s'agit du VAR, de l'arbitre assistant vidéo. L'arbitre central peut solliciter l'aide de cet assistant vidéo, lui-même membre du corps arbitral, aidé d'un adjoint et d'un technicien. Cette équipe a accès aux caméras des diffuseurs, ainsi qu'à des caméras spécialement dédiées aux hors-jeu. L'appel à l'assistant vidéo est limité à quatre situations : but, pénalty, carton rouge direct et identification des joueurs impliqués sur les fautes. L'assistant vérifie toutes les actions



FIGURE 5. Un arbitre assistant vidéo au travail durant un match du championnat serbe (CC BY-SA 4.0: Niko4it).

et peut informer l'arbitre de champ qu'une « erreur manifeste » a été commise ou un « incident grave » a été manqué (IFAB 2023). L'objectif est de réduire les erreurs et injustices commises en profitant des capacités techniques d'une régie vidéo. Il n'y aurait plus but sur la main de Thierry Henry.

Mais qu'est-ce qui pourrait mal se passer ?

Nos trois promesses ont maintenant été formulées. Vous savez que les projets ont d'une manière ou d'une autre échoué à réaliser leurs promesses. Comparons maintenant vos hypothèses à la réalité.

2] Les milieux résistent

2.1] Retour sur *One Laptop per Child*

Revenons à notre première histoire : celle du projet *One Laptop per Child*. Que se passe-t-il si on envoie un PC à des enfants dans un village isolé ? À quoi faut-il s'attendre ? Il ne surprendra personne d'apprendre que le projet OLPC n'a pas mis fin à la pauvreté ou à la guerre. Qui peut croire à de telles promesses ? Mais encore faudrait-il comprendre pourquoi celles-ci ne cessent d'être énoncées et les dommages qu'elles provoquent au final. Le projet n'a pas distribué 100 millions de machines, mais son impact est loin d'être négligeable avec 3 millions d'ordinateurs portables mis en circulation.

Comment les choses se sont-elles passées une fois les ordinateurs dans les mains des enfants ? C'est ici que l'ouvrage de Morgan Ames offre une contribution indispensable (Ames 2019). Ames a passé plusieurs mois dans les écoles paraguayennes dotées en OLPC et réalisé 144 entretiens avec les professeurs, les familles, les promoteurs locaux du projet. Le cas du Paraguay est particulièrement intéressant. En effet, 85 % des OLPC ont été distribués en Amérique Latine, dont 75 % pour le Pérou et l'Uruguay.

Dans le cas du Pérou, le déploiement s'est fait en suivant à la lettre la promesse : donner les ordinateurs et repartir, y compris avec les fameuses distributions dans les villages isolés... par hélicoptère. Le cas de l'Uruguay est différent puisque le pays a un PIB par habitant quasiment deux fois supérieur à celui du Pérou, et comparable à la Roumanie ou à la Bulgarie, avec un système scolaire structuré, un taux d'alphabétisation de 98 %. Le cas du Paraguay est encore un peu différent, puisqu'il s'agit d'un projet

de taille beaucoup plus modeste, avec 10 000 machines distribuées, mais bénéficiant d'un suivi par une organisation non-gouvernementale, Paraguay Educa, qui, contrairement à ce qui s'est passé au Pérou, a tenté de pallier le déficit d'infrastructure, en installant des antennes wifi et des prises électriques dans les écoles, ou encore en lançant de modestes programmes de formation des enseignants. L'action de Paraguay Educa lui a valu d'être régulièrement cité comme l'un des projets les plus réussis.

Pour autant, dans chaque cas, la distribution d'OLPC n'a pas eu d'impact mesurable sur les performances éducatives, selon les études menées sur place. L'étude de la Banque inter-américaine pour le développement montre peu d'effets pour les 500 000 enfants péruviens. Il faut dire qu'il n'y a eu aucun financement pour les infrastructures, ni formation des enseignants, ni accès à internet. Il y a peu d'usage. Les ordinateurs restent dans un placard à l'école. Le cas de l'Uruguay est plus proche de celui étudié au Paraguay, avec un soutien aux infrastructures et un investissement social. Mais les enquêtes conduisent à un résultat similaire au Paraguay : 25 % à 35 % des machines sont inutilisables. L'étude conduite par l'Université Nationale de l'Uruguay ne montre aucun gain en lecture ou mathématiques (Ames 2019, p. 156).

Comment expliquer que la machine ne rencontre pas le succès attendu et échoue à produire les effets éducatifs espérés ? Le projet coche à peu près toutes les cases de l'occultation des milieux dans la conception. Nous pouvons retenir deux leçons de l'ouvrage de Ames, comme autant de figures de cet oubli.

Suivons d'abord Ames dans l'observation d'une séance en classe. Celle-ci ne devrait guère surprendre n'importe quel professeur habitué à travailler avec des technologies numériques. Sur les 14 élèves, 9 ont leurs ordinateurs, 5 ne l'ont pas, soit qu'il soit cassé, soit que les élèves, transférés d'une autre école n'en aient pas été dotés. Sur les 9, seuls 2 ont le programme nécessaire à la leçon, Tux Paint. Pas grave, l'enseignante a prévu une clé USB pour flasher les machines. Mais le processus ne marche pas. Souvent les ordinateurs n'ont plus de place mémoire. Il faut désinstaller d'autres programmes et rebooter. Mais les PC allumés se trouvent bientôt à cours de batterie. Paraguay Educa a beau avoir fait installer deux prises par classe, elles ne sont pas assez nombreuses. Et encore, il n'y a pas de coupure de courant

ce jour-là. Quarante-cinq minutes plus tard, 6 étudiants sont prêts pour la leçon, les autres suivront au papier crayon... quand ils ne sont pas occupés à regarder un épisode de *Naruto* sur l'une des rares machines en fonctionnement. L'OLPC se révèle ainsi un tout autre cheval de Troie que celui envisagé par ses promoteurs, qui complique singulièrement le travail des enseignants.

On pourrait dire que le premier oubli ici est celui du milieu technique. Il est, d'une certaine manière, délibéré. La manivelle était censée résoudre le problème du réseau électrique. Le *mesh network* celui du réseau internet. Comme si la machine pouvait déployer par elle-même sa propre infrastructure. Or, la manivelle est restée à l'état de prototype. Pour la petite histoire, elle s'est cassée lorsque Kofi Annan a voulu montrer la machine. De plus, l'ordinateur n'était pas assez puissant pour faire fonctionner le *mesh network*, dont Ames explique qu'il crashait à partir de trois machines connectées. Alors que l'ordinateur était censé être robuste, selon les estimations de Paraguay Educa seules 40 % des machines étaient encore en bon état un an après, avec la fragilité de l'écran, la tentation de les attraper par les antennes wifi et la difficulté à se procurer des pièces détachées. Il n'y a pas d'objet technique sans milieu technique : à quoi bon avoir des voitures si l'on n'a pas de route, des ordinateurs si l'on n'a pas d'électricité ? L'occultation *by design* des infrastructures et de la maintenance a conduit à un premier point de friction évident. Toute seule, la machine ne sert pas à grand-chose.

On pourrait cependant objecter, à raison, que la leçon en classe ne correspond pas au cas d'usage envisagé pour la machine. Les promoteurs étaient inspirés par la pédagogie constructionniste, développée par le chercheur Seymour Papert au MIT, lui-même impliqué dans les débuts du projet. C'est ici que se trouve le véritable cœur battant de la promesse. L'idée est que les ordinateurs permettent un mode d'apprentissage autonome, en rupture avec l'apprentissage scolaire standardisé. Dans cette perspective, il est essentiel de comprendre que l'OLPC n'a pas pour but d'améliorer l'école, mais de la transformer, voire de l'évincer. Les enfants pourront apprendre seuls, sans la supervision des adultes.

Les ordinateurs nous permettent d'éviter aux enfants le processus traumatique dangereux et aléatoire qu'est l'éducation scolaire. Rien n'est plus ridicule que l'idée selon laquelle cette technologie

pourra être employée pour améliorer l'école. Elle va déplacer l'école et la façon dont nous avons jusqu'ici compris l'école. Les défauts de l'école sont absolument fondamentaux. Il est impensable que l'école telle que nous l'avons connue se poursuive (Ames 2019, p. 61).

Cette promesse s'incarne tout particulièrement à travers les programmes installés sur la machine, comme *Scratch* ou *Turtle Art*. Ce dernier permet de dessiner en utilisant des instructions en *Logo*, langage développé par Papert. Le cœur de l'apprentissage se ferait donc de manière autonome par la programmation.

Or, ici, les données de terrain sont sans appel. Le premier usage de l'ordinateur est un non-usage : 15 % des ordinateurs sont cassés auxquels s'ajoutent 50 % qui ne sont jamais utilisés par les enfants en dehors de l'école. Ces derniers n'en voient tout simplement pas l'intérêt. Mais le tiers d'utilisateurs restant n'utilise absolument pas la machine dans l'usage escompté, mais comme un instrument de consommation médiatique : dessins animés sur internet ou jeu vidéo, à commencer par *Vascolet*, un clone publicitaire de *Super Mario Bros* produit par Nestlé pour la machine. L'usage constructionniste est donc ultra-minoritaire. Ames parvient à dénicher deux enfants, un frère et une sœur, qui s'intéressent, pour un temps, à *Scratch*. Mais les conditions sont particulières puisque leur mère est impliquée dans Paraguay Educa... Les autres enfants qui se conforment à l'usage prescrit se recrutent dans les quartiers riches de la capitale, où l'usage de l'anglais permet de se débrouiller pour trouver des ressources en matière de programmation.

Nous trouvons ici une deuxième forme d'occultation du milieu, cette fois-ci socio-technique. Et, à nouveau, cette occultation est à dessein. Non seulement l'ordinateur est censé produire ses effets indépendamment des conditions locales, du niveau d'éducation des familles, des compétences des uns et des autres, mais les utilisateurs n'ont jamais été au centre du design. L'OLPC est, de ce point de vue, un modèle de conception étrange, qu'on pourrait dire « orienté concepteurs » plutôt qu'utilisateurs. Non seulement l'absence de prototypage ou d'essai grandeur nature avant le déploiement des machines est revendiqué, mais surtout, la conception est empreinte, selon l'expression de Ames, d'une forme de nostalgie.

La machine n'est pas pensée pour les enfants actuels, dans la diversité de leurs conditions d'existence, mais pour les enfants que

les concepteurs ont été. C'est ce « design nostalgique » qui explique que les limitations techniques drastiques de la machine n'ont jamais été envisagées comme un véritable problème. Justifié par le coût, le retard technique de la machine était aussi considéré comme une opportunité : les enfants seraient obligés de hacker, de pousser le portable dans ses retranchements, tout comme les concepteurs avaient eu à le faire avec les ordinateurs peu puissants de leur jeunesse. Or, à l'usage, ces limites, notamment en termes de mémoire, apparaissent comme un frein considérable.

Toute la machine est traversée par l'idéologie du « garçon techniquement précoce », du petit génie qui code tout seul dans sa chambre... en oubliant les conditions sociales qui favorisent ce type de pratiques, notamment en termes de genre. Parmi les deux enfants de Caacupe que suit Ames, c'est la sœur qui se montre la plus entreprenante, mais qui finit par être mise sur la touche au profit des garçons.

L'OLPC représente ainsi une forme quasiment caricaturale d'oubli des milieux et des utilisateurs. L'image de l'ordinateur balancé par hélicoptère sur les gamins offre une figure extrême du global : vu du ciel, les enfants sont les mêmes partout ; nul besoin d'aller se compliquer la vie dans les conditions intriquées du terrestre. On reviendra après et la machine aura produit toute seule ses effets, dans le colloque singulier entre l'utilisateur et le dispositif. L'oubli des milieux et des médiations apparaît comme le fantasme technosolutionniste ultime.

Est-ce à dire que le projet était condamné à échouer ? L'expérience de Paraguay Educa montre la voie... mais aussi toutes les contradictions de cette affaire. C'est la dernière leçon que l'on peut retenir de Ames. Que fait Paraguay Educa si ce n'est de la conception orientée milieu, en reconstituant avec ses moyens un milieu d'usage favorable pour la machine, en prenant soin aussi bien des infrastructures matérielles que de la transmission humaine des savoirs et des capacités ? Mais le drame de l'histoire est que la grande promesse se perd aussitôt dans un travail beaucoup plus lent, graduel et ingrat : au final, il faut reconstituer de l'infrastructure scolaire... c'est-à-dire précisément ce que l'OLPC promettait d'éviter d'avoir à faire. Et lorsque se tarit la magie de la promesse, se tarissent bientôt à leur tour les financements. Entre faire semblant que la

magie opère et le vrai travail d'aménagement d'un milieu éducatif favorable, il n'y a pas de place pour un tiers terme.

2.2] Retour sur Biosphere 2

Le cas de Biosphere 2 nous livre une autre leçon. Le problème n'est plus l'oubli du milieu, mais la perspective de sa maîtrise totale. Biosphere 2 est un exemple particulièrement saillant de la tentative de transformer le milieu en environnement, en un système intégralement sous contrôle. Nous suivons ici le compte-rendu de Mark Nelson (2018), l'un des participants de l'expérience.

Qu'est-ce qui a pu mal se passer? Procédons à une avance rapide vers la nuit du 5 avril 1994: vers 3 heures du matin, deux membres de la première expédition, Abigail Alling et Mark Van Thillo, attaquent le complexe. Ils brisent plusieurs vitres, forcent l'ouverture des sas et dégradent des filtres à oxygène (Hotz & Bauman 1994). Biosphere 2 héberge à ce moment-là une deuxième expédition, qui s'achèvera prématurément quelques mois plus tard. Cet épisode n'est que l'un des soubresauts dans la série de conflits rocambolesques qui traversent l'histoire du projet. La veille, Ed Bass, le financeur du projet a pris la décision d'évincer le management scientifique, porté par John Allen, et d'installer à la tête du projet un banquier d'affaire, dont le nom ne vous est peut-être pas inconnu, puisqu'il s'agit de Steve Bannon, devenu depuis l'idéologue d'extrême droite, responsable des campagnes de Donald Trump. Bannon s'empare du site avec une équipe de policiers. La justice estimera, quelques années plus tard, qu'Alling et Van Thillo ont eu raison, qu'ils ont agi en connaissance de cause, pour sauver les membres de l'expédition menacés dans leur intégrité physique par le nouveau management (Stern 1996).

C'est la fin de Biosphere 2, comme site de «missions de survie». La responsabilité du complexe est transférée à l'Université de Columbia en 1995, qui abandonne le principe d'expérimentations en milieu clos et l'utilise comme vivarium destiné à expérimenter l'impact des niveaux de CO₂ sur la végétation. En 2005, le site est à vendre, menacé d'être racheté pour être transformé en zone touristique, avec centre commercial et complexes hôteliers. L'Université d'Arizona, soutenue encore et toujours par Ed Bass, préempte le rachat et maintient la fonction du site comme zone d'expérience écologique, jusqu'à ce jour.

Quelles leçons tirer de la première mission? Comme pour l'OLPC, la controverse est possible pour la qualifier en succès ou en échec. Les huit biosphériens sont sortis sains et saufs deux ans, jour pour jour, après leur entrée. Bien qu'ils se soient fâchés à mort et scindés en deux clans, ils ne présentaient pas de symptômes de dépression. Au plan physique, ils avaient, certes, perdu du poids, du fait du régime basse calorie suivi et de l'expérience continuelle de la faim, mais ils étaient en bonne santé. Ce qui est plus polémique est la question de savoir dans quelle mesure la «réussite» de la mission – deux ans de survie en milieu clos sans apport externe – a pu être truquée. La sortie d'une participante qui s'était blessée à la main, dans les premiers mois de l'expédition, et surtout sa rentrée, chargée d'un gros sac, contenant simplement des pièces informatiques pour les uns, de la nourriture pour les autres, a alimenté la controverse médiatique. De même, la question de savoir si «l'équipage» a pu recevoir de la nourriture de l'extérieur a fait polémique. On sait qu'une partie des graines apportées initialement a été consommée comme nourriture primaire. Le fait de savoir si l'expérience devait se poursuivre en clôture intégrale a été le principal sujet de discorde dans l'équipe: une moitié plaidant pour la réorientation de l'expérience vers des motifs scientifiques, quitte à recevoir de l'aide extérieure, l'autre moitié plaidant pour la logique initiale de l'expédition de survie en milieu clos.

La question de la survie en autarcie a été tranchée par la suite, et sur un autre terrain que la nourriture, à partir du moment où a été révélé le fait que l'expérience a nécessité l'injection externe d'oxygène. Le système laissé à lui seul aurait conduit à la mort certaine de ses occupants. Pas plus sur Mars que dans un vaisseau spatial, il n'aurait été possible de sauver l'expérience. Cette question de la baisse du niveau d'oxygène est une des énigmes les plus intéressantes de l'aventure de Biosphere 2. En un sens, elle est l'une des expressions de la réussite architecturale du projet. Si le système avait été moins cloisonné, avec un peu plus d'échanges avec l'environnement extérieur, cette baisse de l'oxygène aurait été compensée et indétectable. Or, le taux d'oxygène dans l'air, à 20,9 % au début de l'expérience est tombé à 14,5 % 16 mois plus tard, soit l'équivalent d'un séjour à 4000 mètres d'altitude (Nelson 2018, p. 174). Cette lente dégradation du taux d'oxygène dans l'air, associée au

régime faiblement calorique, a eu un impact considérable sur les biosphériens dont toute l'activité a été ralentie. Une des hypothèses physiologiques avancées est qu'ils auraient survécu dans un état analogue à une hibernation, retrouvant une capacité oubliée de l'espèce (Nelson 2018, p. 181). De fait, un des résultats étonnants est que leur métabolisme n'a pas compensé la baisse de l'oxygène dans l'air par un accroissement de globules rouges comme cela se passe en montagne, probablement du fait du régime alimentaire suivi.

Quoi qu'il en soit, le mystère de la disparition de l'oxygène est resté entier jusqu'à ce que Jeff Severinghaus et Wallace Broecker de Columbia ne trouvent l'explication en 1994. La première hypothèse pour expliquer cette disparition reposait sur le déséquilibre entre respiration et photosynthèse. Durant la journée, les plantes utilisent le CO_2 et l'eau pour produire des tissus et rejettent de l'oxygène dans le processus. Cet oxygène, déchet de la photosynthèse, est consommé par la respiration des animaux ou des bactéries aérobies qui rejettent à leur tour du CO_2 . Mais dans biosphère 2, le processus de respiration excédait la photosynthèse. Cet excès a été expliqué après coup par la richesse bactérienne des sols amenés pour soutenir la croissance végétale. Sans compensation par la photosynthèse, la seule respiration des sols prélevait un pour cent d'oxygène par semaine. On aurait néanmoins pu s'attendre, à terme, à ce que le système se rééquilibre, la croissance végétale bénéficiant à la fois de la richesse des sols et du CO_2 pour générer à son tour plus d'oxygène ramenant le système à l'équilibre. Mais l'énigme de biosphère est que la diminution du taux d'oxygène n'était pas corrélée à une augmentation du CO_2 . En effet, alors même que la gestion des taux de CO_2 était l'un des enjeux majeurs de la vie quotidienne des biosphériens, nulle part n'apparaît l'accroissement du taux de CO_2 auquel on aurait pu s'attendre du fait du déséquilibre entre respiration et photosynthèse.

La solution réside dans un facteur inattendu, à l'entrecroisement de la technosphère et de la biosphère : la structure de béton a fonctionné comme un puits de carbone. Le béton absorbe en effet le CO_2 à travers un processus dit de carbonatation. Les analyses ont montré que le béton à l'intérieur de la structure avait des taux de carbonatation dix fois supérieur au même béton, coulé à la même époque de la construction, mais en contact avec l'extérieur de la

structure. La solution du béton explique en outre pourquoi la perte d'oxygène était plus forte en hiver : une moindre production d'oxygène par les plantes menait à de plus forts taux de CO_2 , absorbé par le béton. Biosphere 2 offre un exemple extraordinaire d'intrication entre bio et techno-sphère : le déséquilibre entre la photosynthèse et la respiration de la vie microbienne est capturé et dissimulé par la chimie du béton.

Ce déséquilibre est sans doute le plus frappant, dans la mesure où il était totalement inattendu pour les membres du projet. La plus grande part de l'activité des biosphériens était tournée sur la gestion du CO_2 . Dans Biosphere 2, tous les cycles géochimiques se produisent à une échelle accélérée. Une trop forte concentration de CO_2 était le facteur qui faisait le plus craindre un échec rapide de l'expérience. Non pas à cause de l'effet de serre et du réchauffement, puisque le climat de Biosphere 2 est artificiellement contrôlé, mais du fait du déséquilibre dans la croissance des plantes et la production d'oxygène. Le CO_2 sert, en effet, à la croissance des plantes, mais devient contre-productif à partir d'un certain seuil. Il produit en outre une acidification des océans qui aurait mené rapidement à la disparition du récif corallien. L'équipe bénéficiait d'un dispositif de séquestration artificiel de carbone, mais elle a surtout utilisé des stratégies métaboliques, en stimulant artificiellement la croissance de la savane par irrigation, puis en coupant les herbes pour les stocker dans une réserve, servant de banque de carbone. De même, le moindre espace cultivable a été investi pour alimenter la photosynthèse. En définitive, le taux de CO_2 a été maîtrisé, avec tant d'efforts délibérés, mais aussi l'aide inattendue de la structure de béton.

La gestion du CO_2 illustre bien le soin considérable que les biosphériens ont dû porter à leur infrastructure vitale. Tout était calculé pour la survie, avec la pleine conscience de la précarité de l'expérience. Le relevé des taux de CO_2 ou de pH océanique faisait partie de la routine des briefings matinaux. Cependant, d'autres systèmes se sont transformés ou effondrés lors de l'expérience. L'ensemble des insectes pollinisateurs a été décimé par une espèce invasive de fourmis. Le biome désertique a commencé à évoluer vers un climat méditerranéen du fait de la condensation et de l'humidité. La forêt vierge a été colonisée par des belles-de-jour. De plus, l'équipe a dû

lutter contre une invasion massive de cafards. De manière générale, le maintien de la stabilité relative de l'écosystème a demandé un effort constant, au jour le jour.

L'expérience a-t-elle été une réussite ou un échec? Une des manières les plus convaincantes d'en faire une réussite est de considérer, comme le biosphérien Mark Nelson, que l'échec du projet est sa véritable réussite. C'est-à-dire que la fonction de Biosphere 2 était de montrer à la fois la fragilité des écosystèmes et la nécessité d'agir, en permanence, pour en préserver les équilibres vitaux.

À partir de notre expérience dans Biosphere 2, où nous avons travaillé si dur pour empêcher le CO₂ et autres problèmes de détériorer notre biosphère et notre santé, une énorme question demeure: pourquoi jouons-nous aux dés avec notre biosphère globale? L'endroit où expérimenter et apprendre des biosphères est dans les laboratoires comme Biosphere 2, pas avec quelque chose d'aussi précieux et irremplaçable que la vie sur la planète Terre (Nelson 2018, p. 70).

Peut-on reproduire sous cloche un environnement dont nous maîtriserions tous les paramètres et que nous pourrions intégralement piloter? Reconstruire de A à Z les conditions de l'habitabilité du terrestre se révèle plus difficile que prévu. La meilleure leçon de Biosphere 2 est son échec: le milieu résiste ou excède la mise en système. Biosphere 2 nous confronte aux limites de cet idéal de maîtrise. Cet écosystème vivant sous cloche est construit sur l'oubli de l'historicité irréductible et de la singularité des milieux réels.

Est-ce qu'il y avait mieux à faire ou est-ce que le problème était, dès le départ, mal posé, comme l'écrivait à l'époque le philosophe Jean Baudrillard:

Biosphere 2 est le premier zoo qui inclut l'espèce humaine, et où l'être humain se prend lui-même pour une espèce zoologique en voie de perdition. En même temps, il s'affirme par là comme la seule espèce technologique capable de dominer toutes les autres, et se payant le luxe de les protéger après les avoir détruites. [...] Cette expérience, comme toute tentative de survie artificielle, de paradis artificiel de l'espèce, est illusoire, non pas par défaillance technique, mais dans son principe même. Elle est donc guettée, malgré elle, par les mêmes accidents que la vie réelle – heureusement, dirons-nous, l'enjeu involontaire de Biosphere 2 étant de vérifier, dans les meilleures conditions,

la vanité de toute abstraction rationnelle et scientifique de notre Biosphère 1. Espérons que l'univers aléatoire du dehors viendra briser ce cercueil de verre et ressusciter Blanche-Neige (cité par Scott 2019, p. 47-60).

2.3] retour sur la VAR

Revenons, pour finir, à l'arbitrage vidéo. La promesse de justice sportive a-t-elle été tenue? Le cas de la VAR nous entraîne sur un dernier terrain: celui de la «constitutivité» technique. Les techniques ne sont pas seulement des moyens neutres en vue d'objectifs déterminés, elles transforment invariablement les milieux et cadres de l'activité. La VAR ne règle pas le problème de l'arbitrage. Elle transforme le football.

Qu'est-ce qui a pu mal tourner? Choisissons une autre scène de football: le 30 novembre 2022, le match du mondial au Qatar opposant la France à la Tunisie s'achève dans la confusion. Par l'intermédiaire d'Antoine Griezmann, les Français ont arraché une égalisation dans les arrêts de jeu. Les joueurs français se congratulent, les Tunisiens jouent le coup d'envoi, l'arbitre siffle la fin de la rencontre qui s'achève sur un match nul. Le diffuseur TF1 rend l'antenne. À la fin de la publicité, surprise: le but a été annulé par la VAR. La Tunisie remporte le match... sans enjeu sur la suite de la compétition. Mais l'histoire ne s'arrête pas là, puisque la Fédération française dépose alors une réclamation, arguant du fait que la VAR aurait été utilisée de manière illicite, alors que le jeu avait déjà repris.

Cet incident regroupe à peu près toutes les dimensions de la controverse sur le recours à l'arbitrage vidéo dans le football. Il permet d'identifier plusieurs «effets de milieux», qui n'étaient pas forcément évidents au point de départ. Ici, encore, et plus que dans les autres histoires, la notion d'échec se discute. Le système a été déployé. Même s'il génère, en permanence, son lot de controverses, il n'est guère question de revenir en arrière. Ce qui a pu arriver néanmoins, par le passé, dans d'autres sports, comme le football américain où l'arbitrage vidéo a été précocement introduit en 1986, supprimé en 1992, et réintroduit avec un autre périmètre en 1999. Ceci étant, il reste que la réalisation de la promesse initiale – celle de corriger les injustices et erreurs d'arbitrage (IFAB 2018) – par un surcroît de technique fait encore débat.

La VAR semble offrir un exemple particulièrement net de ce que l'essayiste Evgeny Morozov a baptisé du nom de «solutionnisme technologique» (cf. chapitre 12). Chez Morozov, le solutionnisme apparaît comme une forme d'illusion : l'idée que des problèmes sociaux complexes pourraient avoir des solutions techniques simples (Morozov 2013, p. 5). Ces solutions sont condamnées à échouer face à un retour de la complexité initialement refoulée. Dans le cas de l'arbitrage vidéo, ce retour du problème est une évidence. Manifestement, la VAR n'a pas supprimé les débats sur l'arbitrage, mais la solution les a simplement déplacés. Ce déplacement du problème était précisément l'objection que Michel Platini, alors président de l'UEFA, faisait à la VAR : «Ça ne règle pas les problèmes, ça les déplace. Je suis contre le VAR. Je pense que c'est une belle merde», déclarait-il (AFP 2019). Le cas du match France-Tunisie n'est pas loin de lui donner raison. Dans cet exemple, la VAR multiplie par deux la controverse plutôt que de la réduire : y avait-il hors-jeu, mais aussi l'usage de la VAR était-il légitime à ce moment du match ? La situation se traduit par ce curieux clivage de l'opinion : 85 % des passionnés de football se déclarent favorables à la VAR en 2019, mais 42 % de ces mêmes passionnés déclarent que ça marche mal et 49 % que la VAR «dénature l'esprit du football» (Fortune 2019) !

Nous aurions ici un cas typique de «contre-productivité paradoxale», pour reprendre le vocabulaire du philosophe des techniques Ivan Illich, dans lequel la solution, à partir d'un certain seuil, crée plus de problèmes qu'elle n'en résout. Un exemple typique est celui de l'automobile : la congestion du réseau diminue la vitesse (Dupuy 1975). La réponse technosolutionniste typique consiste en une forme de fuite en avant. Il faut construire d'autres routes, jusqu'à ce qu'elles soient congestionnées à leur tour, et ainsi de suite. Dans le cas de la VAR, le problème est qu'il n'y a jamais assez de VAR. Pour chasser les controverses, qui se sont réfugiées dans le car régié, il faudrait désormais assister les assistants par intelligence artificielle (Lausson 2021). Alors, là, seulement, on en aurait fini avec les polémiques sur l'arbitrage et refondé la justice sportive sur une base objective. Et ainsi, de suite.

Affirmer que la solution n'a fait que déplacer le problème – les controverses sur l'arbitrage n'ont pas disparu – est peut-être une critique trop timide. La solution ne résout pas le problème, mais le

problème était-il seulement bien posé? L'arbitrage vidéo ne résout pas les controverses sur l'injustice des décisions arbitrales, mais ces controverses doivent-elles vraiment être réduites? La question paraît provocatrice: la réduction des erreurs et injustices n'est-elle pas un objectif louable, par principe?

Or, manifestement, la discussion de l'injustice, la mise en récit morale du sport est un ingrédient considérable de la discussion sportive. Il est possible de gagner en football «contre le cours du jeu», sans l'avoir mérité. L'ajustement imparfait de la récompense et du mérite semble être une coordonnée essentielle de l'expérience d'un jeu. Il serait juste «que le meilleur gagne». Et pourtant la victoire et la défaite se joue sur un tout petit ensemble d'événements hautement aléatoires, si bien que le plus faible a toujours une chance de battre le plus fort. Par construction le football cultive l'aléa: telle est la fonction du ballon, un objet sphérique conçu pour échapper aisément à la prise et qu'il faut contrôler avec le membre le moins agile et le moins bien pourvu à cette fin, le pied. L'expérience de l'injustice est l'état normal du spectateur de football; et non un état accidentel ou extraordinaire. En témoigne la formule de l'écrivain Nick Hornby (1992): «L'état naturel du fan de football est la déception amère.»

La dimension constitutive de «l'erreur d'arbitrage» ou de «l'injustice» pour l'expérience sportive est rendue encore plus sensible si l'on considère le cas des jeux vidéo de football. Il y a ici une énigme: pourquoi y a-t-il des arbitres dans FIFA? En effet, dans le cas des jeux de football, l'arbitrage est superfétatoire. Tout événement est parfaitement déterminé et le programme sait avec une certitude absolue si le ballon a franchi ou non la ligne, si la passe était hors-jeu ou si une faute a été commise. Le jeu offre un espace miniature de justice et d'objectivité absolue. La fonction de l'arbitre y est donc inutile: le programme remplace à la perfection son jugement. De fait, les premiers jeux de football ne possédaient pas d'arbitres. L'arbitre a été introduit dans un souci de «réalisme» de façon à imiter la retransmission télévisuelle des matchs. Jusqu'au point où l'arbitrage vidéo est lui-même intégré au jeu vidéo.

Mais faut-il aller jusqu'à introduire des erreurs d'arbitrage? C'est manifestement la solution qui a été choisie, avec une forme de réglage variable de la sévérité de l'arbitre. La situation est curieuse:

les jeux vidéo de football réalisent le monde idéal de la VAR, celui dans lequel l'erreur d'arbitrage est devenue impossible ; et pourtant, ils réintroduisent des formes d'erreurs, l'arbitre fonctionnant comme un générateur d'aléatoire qui nourrit l'esprit du jeu. Le rédacteur cède ici la parole à son fils : « Romain, je l'ai charcuté dans la surface. Rien. Lui, il me pousse à peine : pénalty, carton rouge. Je l'entendais hurler. » De fait, la question de l'injustice, non seulement des décisions prises par l'arbitre, mais aussi de toutes les résolutions algorithmiques qu'effectue en permanence le programme, est au cœur de l'expérience des joueurs. En témoigne la discussion interminable et buissonnante sur ce que les joueurs de FIFA appellent le « script », c'est-à-dire l'idée que le jeu triche sur certaines actions – un tacle réussi ou manqué, un ballon qui tape ou non le poteau – pour maintenir l'intérêt du jeu au détriment du mérite. Voici un monde où l'injustice et l'erreur sont expulsées par principe, mais où elles constituent pour autant une part essentielle de l'expérience ludique. La VAR poserait-elle la mauvaise question : faut-il vraiment éliminer l'erreur ou l'injustice en football ?

Si la première caractéristique du technosolutionnisme est de se présenter comme une solution technique évidente à un problème potentiellement mal posé, sa deuxième caractéristique est la négation des effets constituant de la technique sur l'activité. Le principe de la technosolution est de promettre une résolution du problème, « toutes choses égales par ailleurs ». On fera mieux que l'existant, mais on fera exactement la même chose, sans rien transformer de l'activité. Or le cas de la VAR illustre particulièrement bien la dimension de constitutivité des techniques. Les techniques ne fonctionnent pas seulement comme un ensemble de moyens neutres déployés pour obtenir des résultats, mais ces moyens transforment non seulement les résultats attendus mais aussi l'activité elle-même.

Dans le cas de la VAR, cet effet de constitutivité technique est sensible à tous les niveaux de l'activité. Elle est évidemment présente pour le spectateur. C'est le cas, de manière emblématique, dans l'affaire du match France-Tunisie. La VAR transforme les conditions du spectacle sportif, sur son aspect le plus crucial : la célébration du but, la bascule de la défaite au triomphe. Ici, la VAR produit deux effets. Premièrement, elle fonctionne littéralement comme une technologie « rabas-joie ». Le but est d'abord célébré, puis

ensuite annulé. L'émotion est décalée : elle se produit toujours sous le régime de l'explosion immédiate, mais elle est condamnée à rester dans les limbes jusqu'à la validation après coup. Un deuxième effet de la VAR est de produire du temps de jeu virtuel : des actions qui ont bien eu lieu, mais qui seront invalidées et qui n'existent plus du point de vue de la partie effective.

Mais la VAR ne transforme pas seulement l'expérience du spectateur, elle transforme aussi l'activité des arbitres elle-même. Ici, la vidéo et notamment la possibilité du ralenti fonctionne comme une technologie cognitive. Il a, par exemple, été démontré que la présence du ralenti altère le jugement : les arbitres ont tendance à juger plus sévèrement les fautes lorsqu'elles sont montrées au ralenti (Spitz *et al.* 2018). Autre effet : la VAR conduit à une conception millimétrique du hors-jeu, la recherche d'objectivité s'étend jusqu'à des seuils indiscernables à vitesse réelle. Autre effet encore, les arbitres assistants ont tendance à ne plus s'engager sur le jugement des hors-jeu, mais à laisser l'action se poursuivre, engendrant le fameux temps de jeu virtuel, quitte à être ensuite rectifiés par la VAR. Si les solutions techniques sont souvent présentées comme de simples outils, qui n'altéreront pas la souveraineté de l'utilisateur, elles transforment en réalité la prise de décision.

Un troisième effet de la VAR porte sur les lois du jeu elles-mêmes. Non seulement, il a fallu modifier les règlements pour inclure ce dispositif nouveau, mais la présence de la vidéo a conduit à un mouvement de balancier jurisprudentiel sur la fameuse loi 12, concernant la sanction des mains. A partir de quand une main est-elle fautive ? Contrairement à l'adage si souvent répété, la présence d'une « main décollée du corps » n'est pas un motif suffisant d'infraction. La faute implique de la part de l'arbitre l'évaluation de « l'intentionnalité » de la faute, critère hautement subjectif. Or, cette référence à l'intention a été supprimée des lois du jeu en 2019, sous l'influence de la VAR et de la recherche d'un critère objectif pour déterminer la faute. Quelques polémiques plus tard, la référence à l'intentionnalité a été réintroduite en 2021. Mais le problème de l'intentionnalité de la faute peut-il être résolu par un procédé technique ?

Que conclure de l'examen de la VAR ? La constitutivité dont fait montre la technique d'arbitrage vidéo n'est pas en soi un problème. Elle exhibe, au contraire, une loi générale de l'opération des tech-

niques, qui ne se cantonne pas à la simple relation entre moyens et fins. Le problème dans ce cas n'est pas la constitutivité en soi, mais le fait de la mettre sous le tapis. Techno-solutionnisme est l'un des noms de cette opération d'ignorance délibérée.

Ce qui nous laisse une autre option possible en guise de travaux pratiques. Ayant esquissé quelques-uns des effets constitutifs de l'assistance vidéo sur le football, à plusieurs échelles, pouvez-vous imaginer ce que serait une conception du vidéo-arbitrage dans le football qui prendrait en charge ces effets de constitutivité, plutôt que de les reléguer sous le tapis ? À quoi pourrait ressembler un football transformé délibérément par l'arbitrage vidéo ? Que pourrions-nous faire de l'émergence des temps de jeu virtuel, du dédoublement des émotions, du point de vue du spectacle ? Quelles transformations des pratiques arbitrales ou des règles pourraient épouser les lignes de force nouvelles que dessine la VAR ? Pour cela, vous pouvez vous appuyer sur le bref survol de la diversité des formes d'arbitrage vidéo dans l'encadré 1).

Encadré 1. Technodiversité des formes de l'arbitrage vidéo

Si l'arbitrage vidéo a été adopté par de nombreux sports, le dispositif choisi pour le football est particulier. Il est intéressant de constater l'hétérogénéité des formes de l'assistance vidéo. De nombreux sports utilisent des technologies d'assistance à l'arbitrage, mais il s'agit bien souvent de décisions qui reposent sur un critère plus objectif que l'intention de faire faute. Ces systèmes s'apparentent, de ce point de vue, à la *Goal Line Technology*, utilisée en football depuis 2012 et qui permet de déterminer si la balle a franchi la ligne de but. La *Goal Line Technology* suscite moins de controverses, si ce n'est la critique de son coût, eu égard au service rendu.

Des techniques similaires existent au tennis, au cricket, au rugby : il s'agit de déterminer si une balle a franchi une ligne. La difficulté n'a rien à voir avec un problème d'intention. Dans le cas du tennis ou du cricket, le jugement est compliqué par la vitesse de la balle. Dans le cas du rugby, il est compliqué par l'empilement de corps au-dessus de la balle qui masque l'action d'aplatir dans l'en-but. Or, cette ambiguïté est largement résolue, depuis longtemps, dans des sports comme le football ou le basket par un dispositif technique parfaitement low-tech, qui est le

filet. Le dispositif du panier suffit à attester la réussite ou non de la tentative. Au basket, les aides à l'arbitrage étaient ainsi initialement liées au fait de savoir si le panier est marqué dans les temps.

Le cas du football apparaît relativement singulier de ce point de vue dans la mesure où l'arbitrage vidéo ne se cantonne pas à la mesure physique d'une trajectoire ou d'un franchissement de ligne, mais remonte en amont de l'action de but vers les fautes potentielles. D'autres sports s'engagent dans la même trajectoire, au nom du même impératif de justice. Ainsi, en rugby de la validation l'arbitrage est passé au jugement des en-avant et à la détection des « actes de jeux déloyaux ».

Mais il existe, en outre, une diversité de modes de recours à l'assistance. Dans le modèle du tennis, du baseball ou du football américain, ce sont les joueurs ou les coaches des équipes qui demandent la vidéo. Le système s'apparente lui-même à un jeu puisqu'il repose sur une structure de pari. Le joueur de tennis, par exemple, a droit à 3 challenges pour contester une décision arbitrale dans la partie: si l'arbitre avait raison, il diminue son stock de challenges, si le joueur avait raison, il conserve son challenge. La logique est totalement inverse en football: non seulement, ni les coaches, ni les joueurs n'ont accès à la VAR, mais cet accès est, en outre, puni. Les joueurs qui demandent la VAR peuvent être sanctionnés. Une autre décision caractéristique de l'implémentation de la VAR en football est la non-publicité des échanges, contrairement, par exemple, au rugby ou au cricket. Personne ne sait ce qui se passe dans l'entretien privé, par oreillettes interposées, entre l'arbitre et son assistant en régie.

Le parcours parmi nos histoires d'« échecs » nous a conduit à considérer que ce qui faisait défaut, à chaque fois, est le milieu, sous des aspects divers: indifférence délibérée au milieu et conception hors-sol pour l'OLPC; résistance inaliénable du milieu contre la volonté de produire un environnement sous contrôle pour Biosphère 2; course-poursuite avec les effets de constitutivité de la technologie sur son milieu d'activité pour la VAR.

Adoptons la maxime suivante:

Si on les oublie, les milieux renâclent, résistent et se ré-invitent par l'échec.

Orientons-nous donc vers le souci des milieux dans la conception. Pour cela, il nous faut produire un concept de milieu.

Pour aller plus loin

LATOUR Bruno (1992), *Aramis ou l'amour des techniques*, La Découverte.

Dans ce grand classique des études Science, technique et société, Bruno Latour analyse l'échec du projet Aramis, un projet de métro automatique à Paris, pour lequel chacun des acteurs se renvoie, après coup, la balle. L'ouvrage ouvre la boîte noire des processus de conception et montre l'importance des alliances entre humains et non-humains dans l'élaboration d'un réseau socio-technique, condition de réussite de l'innovation.

MOREL Christian (2014), *Les Décisions absurdes*, Gallimard.

L'ouvrage discute des exemples spectaculaires d'échecs, à commencer par l'accident de la navette *Challenger* en 1986. Pourquoi les responsables des boosters se sont-ils obstinés à conserver des joints qu'ils savaient défectueux ? Pour comprendre ce genre « d'erreurs radicales persistantes », comprises comme une forme d'action, menée avec constance, contre le but recherché, il faut plonger dans la sociologie des organisations et les biais qui affectent l'expertise.

NOVA Nicolas (2011), *Les Flops technologiques. Comprendre les échecs pour innover*, FYP.

L'ouvrage présente une collection de « flops technologiques » en partant des cas du visiophone et du réfrigérateur intelligent. Il propose une typologie des causes d'échecs qui recouvre en partie celle qui est présentée, notamment autour de la figure de « l'utilisateur moyen » et « l'oubli du milieu technique » et plaide pour un autre modèle de conception.

Bibliographie

AFP (2019), « Arbitrage vidéo : Pour Michel Platini, "le VAR est une belle merde" », *20 minutes* (<https://www.20minutes.fr/sport/2653975-20191118-arbitrage-video-michel-platini-var-belle-merde>).

BABINEAUX Ryan & KRUMBOLTZ John (2013), *Fail Fast, Fail Often: How Losing Can Help You Win*, Tarcher Perigee.

BACHELARD Gaston (1934), « Idéalisme discursif », in Alexandre Koyré, Henri-Charles Puech, Albert Spaier (dir.), *Recherches philosophiques*, vol. 4, Boivin.

DOYON André & LIAIGRE Lucien (1966), *Jacques Vaucanson, mécanicien de génie*, PUF.

- DUPUY Jean-Pierre (1975), «Ivan Illich et la némésis industrielle», *L'Arc* 62, p. 42-50.
- FORTUNE Gregory (2019), «VAR : 29 % des Français pensent que l'arbitrage vidéo dénature le football», RTL (<https://www.rtl.fr/sport/football/var-29-des-francais-pensent-que-l-arbitrage-video-denature-le-football-7798356885>).
- HORNBY Nick (1992), *Fever Pitch: A Fan's Life*, Gollancz.
- HOTZ Robert Lee & BAUMAN Adam (1994), "Biosphere Project Air Seals Broken: Environment: Two former inhabitants are suspected of opening doors to contaminate the ecology experiment. One says she acted for safety reasons, not sabotage", *Los Angeles Times*, April 5.
- INTERNATIONAL FOOTBALL ASSOCIATION BOARD (2018), "Historic step for greater fairness in football" (<https://www.theifab.com/news/historic-step-for-greater-fairness-in-football/>).
- INTERNATIONAL FOOTBALL ASSOCIATION BOARD (2023), «Protocole d'assistance à l'arbitrage vidéo» (<https://www.theifab.com/fr/laws/latest/video-assistant-referee-var-protocol/#principles>).
- LAUSSON Julien (2021), «Football : après la VAR, de l'IA pour détecter les hors-jeu ?», Numerama (<https://www.numerama.com/tech/759005-apres-la-goal-line-technology-de-lia-pour-detecter-les-hors-jeu-au-football.html>).
- MORGAN Ames (2019), *The Charisma Machine: The Life, Death, and Legacy of One Laptop per Child*, MIT Press.
- MOROZOV Evgeny (2013), *To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism*, Public Affairs.
- NEGROPONTE Nicholas (2008), «Nicholas Negroponte et le projet OLPC deux ans après», TED, 27 juin 2008, [youtube.com/watch?v=y_TKjfgjiQs](https://www.youtube.com/watch?v=y_TKjfgjiQs).
- NELSON Mark (2018), *Pushing Our Limits: Insights from Biosphere 2*, University of Arizona Press.
- SCOTT Felicity (2019), *Un climat sur mesure. Les colonies de la NASA (1972-1982)*, Editions B2.
- SEVERINGHAUS Jeff *et al.* (1994), "Oxygen loss in Biosphere 2", *Eos Trans. AGU*, 75(3), p. 33-37.
- SPITZ Jochim *et al.* (2018), "The impact of video speed on the decision-making process of sports officials", *Cogn. Research* 3, p. 16.
- STERN Eric (1996), "SBV firm on 'sabotage' claim", *Tucson Citizen*, June 1.
- THOMSON Iain (2011), «Negroponte plans tablet airdrops to teach kids to read», *The Register*, 2 Nov. (https://www.theregister.com/2011/11/02/negroponte_tablet_airdrops/).

« Milieu » : portrait d'une notion

Mathieu Tricot

Pourquoi aller chercher la notion de milieu pour orienter le design ou la conception ? Quelles ressources nous offre la notion qu'on ne pourrait trouver ailleurs ? L'ambition de ce manuel est d'élargir le type de savoirs que les concepteurs peuvent mobiliser en situation. Que serait une ingénierie qui ne s'appuierait pas seulement sur la physique et les mathématiques, dans une vision à l'ancienne de la technique comme science appliquée, mais qui irait aussi au-delà de l'exigence d'une approche « centrée utilisateurs » ? Comment intégrer le souci des milieux dans lesquels la technique se développe et intervient ? Cet élargissement exige d'enrichir l'activité de conception en savoirs, aussi bien en direction des sciences humaines et sociales que des sciences du vivant. Et l'un des intérêts de la notion de milieu, et non des moindres, est précisément de tenir ensemble ces aspects.

Pour autant, « milieu » n'est pas une notion miracle ou un *gimmick* qu'il s'agirait de convoquer pour savoir immédiatement que faire. La notion possède une histoire longue, à la lisière des disciplines biologiques, physiques, sociales. C'est son avantage. Mais c'est aussi son inconvénient : il n'existe pas un concept unifié, tout prêt à l'emploi, dans lequel il suffirait d'aller piocher. À nous de le construire, en retenant, par agrégation, un ensemble de propriétés à réinvestir dans la conception. C'est la tâche de ce chapitre, qui propose de revisiter un ensemble de textes clés pour appréhender la notion de milieu.

Nous aboutissons ainsi à trois figures possibles de la « conception orientée milieux » : une conception *des* milieux, une conception *par*

les milieux et une conception *pour* les milieux. Nous expliquons pourquoi la première est une chimère, qui rend d'autant plus indispensable les deux autres approches.

1] Une histoire la plus brève possible du milieu

La notion scientifique de milieu possède une histoire longue d'au moins trois siècles. Elle touche, de surcroît, à l'ensemble du spectre des sciences, ou presque : de la physique à la géographie, en passant par la biologie, la sociologie... Non seulement, l'histoire est difficile à résumer, mais la signification et les usages du terme varient de manière considérable, si bien que la notion peut paraître floue et difficile d'emploi. Et pourtant, le simple fait que « milieu » revienne toujours sous une forme ou une autre nous indique que la notion remplit une place cruciale dans la logique même de la description scientifique. Pourquoi ne peut-on se passer de milieu ?

Schématiquement, il est courant de distinguer trois grandes périodes dans l'histoire scientifique du terme (Canguilhem 1967, p. 129-154; Petit 2009). Le sens moderne de milieu apparaît d'abord au tournant du XVII^e et XVIII^e siècle dans le champ de la physique. Le milieu désigne alors une sorte de « fluide ambiant » qui lie toutes choses entre elles. On commence alors à s'interroger sur l'influence de ce milieu sur les caractères humains.

C'est au XIX^e siècle que le terme se charge d'une signification biologique et sociale, pour désigner, comme on le fait encore aujourd'hui des « milieux naturels » ou le « milieu social » dont provient une personne. Au-delà de cette extension des milieux, la vogue du naturalisme conduit à faire du milieu l'explication ultime des conduites humaines, avec l'ambition d'aligner les sciences sociales naissantes sur le modèle de l'explication en physique. Un des meilleurs exemples de cette théorie des milieux au XIX^e siècle est l'œuvre de l'historien Hippolyte Taine qui construit une explication déterministe, par le milieu, pour expliquer la trajectoire des civilisations humaines. Milieu est alors un terme qui porte l'ambition, hautement discutable, d'une théorie générale de l'histoire.

Le XX^e siècle ouvre une dernière phase dans les aventures du terme, marquée par une dissémination tous azimuts, liée à l'institutionnalisation des sciences humaines. La géographie a ses milieux, mais aussi la psychiatrie, la pédagogie, la sociologie, l'histoire, etc.

Au cours de cette dissémination, le terme de milieu se démultiplie désormais par ses adjectifs : il y a le milieu humain, le milieu physique, le milieu social, le milieu local, etc. (Feuerhahn 2017). Dans cette dynamique de création de milieux spécialisés, le «milieu technique» est le dernier né. Il apparaît conjointement, dans l'immédiat après-guerre, chez le paléontologue André Leroi-Gourhan et le sociologue Georges Friedmann (encadré 1).

Encadré 1. «Milieu technique», genèse d'une notion

La notion de «milieu technique» apparaît de manière indépendante chez le paléontologue André Leroi-Gourhan, avec *Milieu et technique* en 1945, et le sociologue Georges Friedmann, avec *Où va le travail humain?* en 1950. L'expression «milieu technique» correspond à une création lexicale délibérée que Leroi-Gourhan introduit comme une «image inaccoutumée».

Or, les deux notions de «milieu technique» sont assez différentes. Un premier élément de partage apparaît dès lors que l'on considère l'expression dont est tirée la notion. Chez Friedmann, le «milieu naturel» constitue l'antonyme auquel s'oppose le «milieu technique». Alors qu'à l'inverse, chez Leroi-Gourhan, le terme de milieu technique s'élabore en continuité avec le vivant, à partir de la notion de «milieu intérieur» en référence à la structure de la cellule en biologie. Autrement dit, le rapport entre technique et nature est complètement inversé : la notion de milieu chez Leroi-Gourhan court-circuite l'opposition entre nature et artifice sur laquelle s'appuie Friedmann. Ainsi, chez Leroi-Gourhan, le phénomène technique ne pourra être traité comme simplement extérieur ou opposé à la nature. L'ouvrage *Milieu et technique* prépare le programme d'une «biologie de la technique» développé ultérieurement dans *Le Geste et la parole*.

Une seconde différence tient à l'unicité ou à la pluralité des milieux techniques. Chez Leroi-Gourhan, chaque groupe humain possède son milieu technique, qui régule les possibilités d'invention ou d'adoption des techniques nouvelles. Au contraire, chez Friedmann le «milieu technique» au singulier s'oppose au «milieu naturel». La thèse centrale est celle d'un passage historique d'un milieu à un autre pour les sociétés humaines : «Nous avons utilisé faute de mieux et afin d'éviter la création de néologismes pédants ces expressions de “milieu naturel” et de “milieu technique” pour mettre en relief la charnière d'une importance capitale qui appa-

raît dans l'histoire des sociétés humaines [...] au moment où aux moteurs à énergie naturelle – force animale, vent, eau, – se substituent peu à peu, puis à un rythme accéléré, des moteurs à énergie thermique, électrique, bientôt atomique» (Friedmann 1950, p. 14).

Mais les approches ont aussi plusieurs caractéristiques communes. La plus importante tient à l'exigence de ne pas réduire la technique à une collection d'objets, mais de l'envisager comme une forme de vie intégrée à l'ensemble de l'existence du groupe. Non seulement, la technique devient un facteur clé d'explication des styles sociaux, mais la dimension subjective, vécue des actes techniques est mise au premier plan. C'est le cas chez Leroi-Gourhan lorsqu'il insiste sur le fait que «la technologie doit d'abord être vécue, pensée ensuite si le besoin s'en fait sentir» pour être véritablement comprise : «Il est bon d'avoir récolté un sac de pomme de terre avec un bâton pointu avant d'envisager la description des outils agricoles» (Leroi-Gourhan 1945, p. 10). L'objet ou le procédé isolés ne disent rien s'ils ne sont pas rapportés à des milieux de vie. Quant à l'analyse de Friedmann, elle se concentre sur la jonction entre la description objective des ensembles techniques et la description subjective des sentiments et des formes de vie qui les accompagnent, dans une «psycho-sociologie» humaniste, qui conduit Friedmann à déplorer les effets désastreux du milieu technique. «L'homme n'est pas le même, il ne sent, il n'agit, il ne pense pas de même selon les époques de son histoire, selon le milieu où il vit : selon les techniques dont il dispose» (Friedmann 1950, p. 14).

Ces deux usages proches et lointains de la notion de milieu technique sont la source exclusive des occurrences de la notion de 1945 à 1970, avant que le terme ne se banalise dans la langue, sans plus nécessiter de référence explicite à ses premiers promoteurs.

Le point clé pour nous est que «milieu» est un terme irréductiblement polarisé. Milieu est toujours utilisé contre autre chose. Ainsi, chez l'éthologue Jakob von Uexküll, milieu (*Umwelt*) est construit comme l'opposé d'environnement (*Umgebung*) : l'environnement est objectif, le milieu est subjectif et n'existe que dans la perspective des êtres vivants. Chez le géographe Augustin Berque, le milieu s'oppose à l'espace géométrique : il n'a pas de définition objective, mais se construit par enchevêtrement des différentes échelles. Berque importe même la notion japonaise de *Fûdo* pour marquer l'écart du milieu à l'espace. Autre exemple : chez le philosophe Jean-Claude

Beaune, le «milieu technique» s'oppose au «système technique» pour intégrer la relation vécue aux objets et aux paysages. Milieu est toujours en rapport avec celui qui l'observe et le pratique, plutôt qu'une collection ou un système d'objets considérés de l'extérieur.

La situation est cependant rendue plus complexe du fait que le clivage passe souvent à l'intérieur même du terme. Le terme milieu peut alors être opposé à lui-même ! Ainsi, historiquement «milieu» a d'abord été utilisé comme un terme objectif, le terme objectif par excellence compris comme la totalité des causes ou des facteurs explicatifs. La notion de milieu est hantée par la perspective du «déterminisme du milieu», que nous évoquions à propos de Taine, c'est-à-dire l'ambition d'une explication ultime des propriétés sociales par l'environnement biophysique ou culturel (**encadré 2**). Si bien qu'à chaque fois que nous rencontrons le terme de «milieu», ou les termes voisins à la mode, avec leur ambition holistique similaire, comme environnement, média, agencements, planétarité, habitat, biosphère ou toutes les variantes du -cène, etc., nous sommes obligés de nous demander de quelle conception du milieu parlons-nous ? L'avantage de «milieu», par rapport aux créations lexicales voisines, est sans doute que sa longue et tumultueuse histoire ne nous permet pas de nous payer de mots et qu'elle nous oblige à regarder les contradictions de la notion en face.

Encadré 2. La controverse du déterminisme du milieu

L'une des controverses principales qui traverse l'histoire de la notion est celle du «déterminisme du milieu». L'ouvrage de l'historien Lucien Febvre, *La Terre et l'évolution humaine*, offre un bon aperçu de ce débat. Febvre y oppose deux visions du milieu : l'une «déterministe», qu'il attribue à la fois à l'historien Taine et au fondateur allemand de la géographie humaine Friedrich Ratzel, et l'autre «possibiliste» dont il trouve source dans l'œuvre du géographe français Paul Vidal de la Blache. C'est cette dernière conception qu'il défend, faisant jouer une acception du milieu contre une autre.

La polémique contre le déterminisme du milieu se nourrit à deux sources. La première concerne le type d'explication. Chez Vidal de la Blache, le milieu n'est plus conçu comme un cadre physique qui imposerait de manière univoque sa loi à ses occupants. Le milieu est un réservoir de possibles, qui offre plusieurs «genres de vie» à

ses occupants. Mieux encore, ces « genres de vie » ne sont pas fixés d'avance, mais résultent des interactions entre les populations et leurs milieux. Il n'y a pas de déterminisme, mais un ensemble de possibles qui sont eux-mêmes le produit dynamique et historique de la relation (Febvre 1949, p. 94).

La deuxième critique de Febvre ne porte plus seulement sur l'opposition entre déterminisme et possibilité. C'est un genre de fausse science que Febvre critique : la notion de milieu emporte avec elle l'illusion dangereuse d'une compréhension totale des phénomènes humains au moyen de quelques facteurs simples. Ainsi, à propos des héritiers de Taine, Febvre dénonce une approche « stérile sinon dangereuse », qui postule des explications « jamais démontrées ».

Il peut être utile, pour se rendre compte du genre de discours que Febvre critique et des dangers de ce « milieu »-là, de revenir à Taine. Dans son *Histoire de la littérature anglaise*, Taine construit un modèle pour l'histoire culturelle qui repose sur trois causes : « la race, le milieu et le moment ». Ces trois causes ne sont pas d'importance égale : milieu et moment interviennent comme des causes secondaires qui infléchissent les « dispositions innées et héréditaires » de la race : « Lorsqu'on a ainsi constaté la structure intérieure d'une race, il faut considérer le milieu dans lequel elle vit. Car l'homme n'est seul dans le monde ; la nature l'enveloppe et les autres hommes l'entourent ; sur le pli primitif et permanent viennent s'étaler les plis accidentels et secondaires, et les circonstances physiques ou sociales dérangent ou complètent le naturel qui leur est livré » (Taine 1866, p. xxvi). La race est ainsi le socle du modèle. Quoi qu'en dise une lecture euphémisée de Taine, il ne s'agit pas d'une simple approche descriptive consacrée aux « différences marquées dans le tempérament et la structure du corps », mais le racisme et l'antisémitisme notamment sont omniprésents. « Il y a naturellement des variétés d'hommes, comme des variétés de taureaux et de chevaux, les unes braves et intelligentes, les autres timides et bornées », écrit ainsi Taine (1855, p. xxiii), pour ne prendre que l'une des citations les moins crues.

Sur cette base, la notion de milieu apparaît relativement complexe, ce que Febvre reconnaît à Taine. En effet, le milieu ne se réduit pas au climat, mais englobe aussi les « circonstances politiques » ou les « conditions sociales », comme les religions. Il y a ici une sorte de paradoxe dans la mesure où le milieu est censé rendre compte de l'histoire culturelle, alors même que la culture fait partie du milieu ! Cette circularité n'empêche pas Taine de produire des

explications caricaturales de l'influence du climat : « Quoique nous ne puissions suivre qu'obscurément l'histoire des peuples aryens depuis leur patrie commune jusqu'à leurs patries définitives, nous pouvons affirmer cependant que la profonde différence qui se montre entre les races germaniques d'une part et les races helléniques et latines de l'autre, provient en grande partie de la différence des contrées où elles se sont établies, les unes en pays froids et humides, au fond d'âpres forêts marécageuses ou sur les bords d'un océan sauvage, enfermées dans les sensations mélancoliques ou violentes, inclinées vers l'ivrognerie et la grosse nourriture, tournée vers la vie militante et carnassière ; les autres au contraire au milieu des plus beaux paysages, au bord d'une mer éclatante et riante, invitées à la navigation et au commerce, exemptes des besoins grossiers de l'estomac » (Taine 1866, p. xxvi-xxvii).

À ces modèles pseudo-scientifiques et clichés sur l'esprit des peuples, Febvre ne répond pas par l'abandon du milieu, mais par sa transformation en un authentique programme de recherche, sur le modèle des genres de vie de Vidal de la Blache. Plutôt que de postuler des influences, il faudra les expliquer. Plutôt que de supposer une détermination univoque par le milieu, il faudra rendre compte de la diversité des possibles et des rétroactions qui opèrent. Et surtout enquêter : « Une immense perspective de labeur s'étend pour nous, historiens et géographes, sur un avenir indéfini. Ce n'est pas l'heure de s'endormir dans l'admiration paresseuse et béate du pauvre petit système étriqué et stérile que quelques précurseurs ont édifié sur la base chétive d'un déterminisme à moitié arrogant et à moitié honteux. Il y a autre chose et mieux à faire que de s'y attarder : à travailler » (Febvre 1949, p. 430).

Où passe le clivage ? D'un côté, milieu est une notion qui nous fait miroiter l'idéal d'une connaissance totale, à l'image des « approches systémiques » aujourd'hui en vogue. Le milieu offrirait l'explication ultime, par la totalité, en intégrant tous les facteurs. Mais de l'autre côté, cet idéal est soumis à une contradiction interne. Kant en proposait déjà une analyse dans la *Critique de la raison pure*, dans les développements consacrés à l'idée de monde. D'un côté, nous ne pouvons pas nous empêcher de revenir encore et toujours à une explication qui prendrait en compte la totalité des phénomènes, en remontant d'un phénomène donné à l'ensemble de ses conditions. De l'autre, ce désir de totalité excède manifestement notre capacité de

connaissance, en ce qu'il exigerait une sorte d'enquête interminable, remontant de conditions en conditions, à l'infini. Nous ne pouvons pas nous empêcher de reconstituer, derrière la chaîne infinie des conditions, ce «milieu» qui serait la somme de toutes les conditions, facteur d'explication ultime, lui-même inconditionné.

Le problème est très concret. Il se pose en permanence, sur n'importe quel projet : si nous décidons de «prendre en compte les milieux», d'élargir la focale pour intégrer de plus en plus de facteurs, jusqu'où aller, où nous arrêter ? Imaginons que je travaille, par exemple, sur un projet d'IA pour la radiologie (Anichini & Geffroy 2021). Au départ, il s'agit d'aider à la lecture des lames par le radiologiste pour la détection des cancers : il y a un écran, un professionnel de santé, et de l'intelligence artificielle ; mais je me rends assez vite compte que le diagnostic ne se réduit pas à l'observation de l'écran ; le diagnostic est une affaire qui mobilise différents professionnels avec des expertises parfois contradictoires ; certains sont plus sensibles à la promesse de l'IA que d'autres ; mais il faut aussi considérer la formation des étudiants, qui pourraient être les premiers destinataires du dispositif ; mais tout cela n'est encore qu'une petite partie du milieu de l'hôpital ; si je ne prends pas en compte sa trajectoire socio-technique et politique globale, est-ce que je ne manque pas des facteurs importants ? Mais l'hôpital lui-même est-il un milieu ou est-il traversé par d'autres milieux : les patients qui arrivent, les cancers qu'ils développent ne sont pas homogènes. Jusqu'où aller dans l'enchevêtrement des échelles spatiales et temporelles ? Et que dire encore du milieu de l'intelligence artificielle, de la recherche ? Et de la position des concepteurs ? Faut-il considérer que le milieu est ce qui rassemble la totalité de ces conditions ? Ou qu'il désigne, à l'inverse, l'impossibilité de cette connaissance totale ? Et si tel est le cas, à quoi bon se préoccuper de milieux ?

La lecture kantienne de cette contradiction du milieu possède un double avantage. Premièrement, elle nous permet de comprendre pourquoi le terme revient toujours. Ce désir d'une explication totale est, si l'on suit Kant, une «illusion de la raison, naturelle et inévitable, qui ne peut être évitée, pas plus que nous ne saurions faire que la mer ne nous paraisse plus élevée à l'horizon qu'auprès du rivage» (Kant 1987, p. 305). Deuxièmement, accepter que milieu

excède toujours les possibilités d'une connaissance objective, alors même qu'il a l'air d'un terme objectif, n'invalide pas l'intérêt de la notion. Les idées de la raison possèdent chez Kant une fonction dite «régulatrice» : elles orientent la démarche de connaissance, elles stimulent l'investigation, alors même qu'elles en excèdent les possibilités empiriques. Nous ne pouvons pas nous passer de réinventer du «milieu» en permanence, alors que nous échouons toujours à l'objectiver de manière définitive.

Reste à construire cet usage «régulateur» de milieu pour la conception. Comment le milieu peut-il orienter la démarche ? À nous de nous faire une idée de ce milieu sans reconduire la chimère de l'explication intégrale ou de la totalité objective. Pour cela, nous pouvons piocher, avec plus ou moins de liberté, dans les traditions théoriques des milieux et singulièrement des milieux techniques. La suite de ce chapitre propose ainsi d'identifier quatre «effets» ou propriétés des milieux : élargissement, constitutivité, réflexivité, normativité. Ces quatre propriétés permettent de distinguer, à coup sûr, le milieu tel que nous l'entendons de son double totalisant et objectif. Surtout, ce sont elles qu'il faut apprendre à anticiper dans la conception.

Ces propriétés sont présentées ici de manière succincte. Elles seront revisitées plus en profondeur dans l'ensemble des chapitres de l'ouvrage. Nous en profitons pour présenter, en encadrés, quelques-unes de ces conceptions emblématiques des milieux et milieux techniques, avec des auteurs comme André Leroi-Gourhan, Gilbert Simondon, Jakob von Uexküll et Georges Canguilhem.

2] Élargir à d'autres échelles

Formons donc une idée de milieu par agrégat de propriétés récoltées dans la tradition. La première propriété évidente qu'implique la notion est l'élargissement du regard. En ce sens, la conception orientée milieu peut apparaître comme une simple variante de la conception orientée utilisateurs, qui poursuivrait simplement le mouvement d'extension au-delà de l'objet technique. La logique d'un tel élargissement est de réintroduire un ensemble de facteurs qui fonctionnent comme des conditions ou des contraintes conditionnant la réussite de l'introduction de l'objet dans son milieu.

Quel est le périmètre de la conception ? L'objet technique pré-suppose un milieu qui lui est favorable. Et si le milieu n'y est pas,

alors il faut d'une manière ou d'une autre l'inventer. Piochons une illustration dans les études science, technique et société (STS). Le cas de l'automobile offre une évidence : les véhicules contemporains sont spécialisés pour un milieu technique type qui est celui de la chaussée d'asphalte. À l'origine, ce milieu technique n'existait pas. Il a fallu le produire. L'histoire de l'automobile montre l'ensemble des efforts, mais aussi des résistances à la production de ce milieu... qui élimine progressivement d'autres usages de la voirie en la spécialisant pour la voiture. L'un des intérêts des travaux d'historiens de l'automobile comme Peter Norton ou Lee Vinsel est de rappeler à quel point la production de ce milieu automobile a nécessité d'efforts, non seulement techniques, mais aussi politiques et juridiques. Par exemple, la législation américaine a fini par exiger la construction d'un quota de places de parking pour tout bâtiment neuf... ce qui conduit, dans une ville comme Houston, par exemple, à un ratio de 30 places de parking par habitant (Shill 2019). Pas de place de parking, pas de voiture. Tout ceci n'est qu'une pièce dans un vaste patchwork juridique - la place de parking est une affaire de matériaux mais aussi de zoning, à la croisée de l'urbanisme et du droit – qui assure l'infrastructure automobile.

Le travail de Norton est particulièrement frappant dans la mesure où il a fait ressurgir des résistances, aujourd'hui totalement oubliées, à la voiture dans les villes américaines, avec notamment des blocages menés par femmes et enfants... utilisant des poussettes placées sur la voie pour interrompre le trafic (figure 1). Ces manifestations, dont on trouve trace jusque dans les années 1950 et 1960, ne revendiquaient pas la suppression de l'automobile, mais des aménagements qui préservent la capacité des enfants à se dépla-



FIGURE 1. Une manifestation après la mort d'une fillette tuée par un camion à Harlem. Article du *New York Daily News*, du 16 février 1949. Archive reproduite dans Norton (2019).

cer en sécurité et de manière autonome en ville. Nous connaissons le fin mot de l'histoire : le mouvement a perdu, la solution à la voiture a été la voiture elle-même... comme moyen de sécuriser les déplacements des enfants. La transformation a été concomitante du transfert de l'urbanisation vers les *suburbs*, la baisse de la natalité et la réduction de la taille des familles. La responsabilité de l'accident a été transférée vers l'enfant ou le défaut de vigilance de la mère. Mais le hasard veut que le déclin de ce mouvement de régulation de l'automobile aux États-Unis coïncide avec l'émergence d'un mouvement similaire, cette fois-ci victorieux, aux Pays-Bas, qui a, lui, produit un autre milieu urbain.

Le milieu automobile apparaît aujourd'hui comme naturel et acquis, comme si la condition s'était en quelque sorte intégrée dans l'objet voiture lui-même. La voiture porte en elle la route, autant que la route la supporte. Cette production d'un milieu concomitant est rendue aujourd'hui particulièrement sensible dans le cas du véhicule autonome. En dépit de ce que le terme semble impliquer, la conduite autonome est profondément hétéronome : elle suppose un milieu technique encore plus contraignant que la simple route. Il faudra désormais qu'elle soit bardée de capteurs, que les piétons soient empêchés de traverser n'importe où, voire munis de puces RFID pour être visibles de manière sécuritaire par les véhicules (Gordon 2019). Sans tomber dans la dystopie, le milieu du véhicule n'est plus tant la simple route que la *smart city* ou une voirie capable de soutenir le véhicule dans ses opérations. À moins de ne réinventer comme Elon Musk le tunnel : un milieu si pauvre et si peu perturbé, que le véhicule autonome peut s'y déployer à loisir, répliquant simplement, de manière moins efficace, le fonctionnement d'un métro ou d'un train (Robinson 2021).

Où faire porter l'attention de conception : sur la voiture elle-même, sur ses organes, sur la relation entre la voiture et son conducteur ; oui mais lequel ou laquelle – les dimensions de genre sont particulièrement marquées pour le style de conduite – ; à moins qu'il ne faille considérer aussi ceux qui ne conduisent pas : les passagers dans l'habitacle, les autres usagers de la voirie ; jusqu'à remonter au mode de vie automobile dans son ensemble ; oui, mais dans quels milieux géographiques et sociaux faut-il le considérer ? Nous retrouvons cette forme de régression de conditions en conditions qui

forme la dynamique cognitive de l'enquête portant sur les milieux (encadré 3).

Encadré 3. La notion de milieu technique chez Leroi-Gourhan

Extrait commenté: André Leroi-Gourhan, *Milieu et technique*, Albin Michel, 1945, p. 332-345.

Les traditions d'anthropologie des milieux techniques offrent de nombreux exemples de ce genre de mouvements qui conduit à retrouver de proche en proche, à partir de l'objet individuel, la série des conditions matérielles, sociales, culturelles qui le rendent possible. On peut penser ici à la description de la cuillère rituelle des Haida (figure 2), donnée par André Leroi-Gourhan dans son ouvrage *Milieu et technique*, en 1945, l'un des premiers à former la notion de «milieu technique».

L'analyse de la cuillère des Haida vient dans le texte en appui d'un développement consacré au caractère «fluide» du milieu, «où tout est en contact constant avec la totalité du mélange.» Les explications «techniques, religieuses, décoratives» sont inextricablement mêlées. En tirant un fil, on retrouve de proche en proche aussi bien le milieu social et ses composantes techniques et culturelles que le milieu extérieur, géologique, climatique, animal, végétal. Dans le cas de la cuillère, la forme est conditionnée par une matière absente: «Quoiqu'en bois, l'exemple choisi copie les cuillères de corne de chèvre sauvage qui imposent un profil courbe. [...] Les contraintes de la taille du bois se trouvent superposées à une tradition technique de taille de la corne.» La cuillère possède des proportions anormales, qui s'expliquent par l'usage: «Elle peut contenir environ trois litres d'huile de poisson, que les nouveaux initiés sont tenus d'absorber lors des fêtes de la majorité des garçons.» L'esthétique du manche fait aussi référence aux traditions religieuses et sociales, en imitant la forme

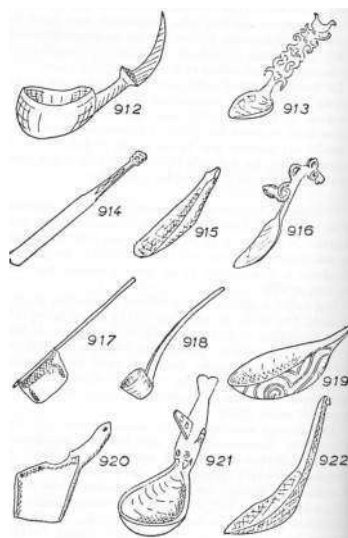


FIGURE 2. La planche de *Milieu et technique* (p. 188) où se trouve figurée la cuillère rituelle des Haida, sous le numéro 921.

de l'orque gladiateur, «un des principaux emblèmes du blason des clans de pêcheurs...» Conclusion de Leroi-Gourhan : «On peut ainsi multiplier à l'infini les analyses sur le même objet : c'est décomposer l'acte simple auquel participe le milieu intérieur tout entier.»

Ce petit exemple intervient à un moment crucial dans la définition du «milieu technique». Le problème que se pose, à ce stade, Leroi-Gourhan est celui du rapport entre ce qu'il appelle la «tendance technique» et le «fait» technique. La tendance correspond à ce déterminisme qui fait que les techniques convergent vers des solutions similaires, un peu partout sur le globe, de manière indépendante. C'est le cas de la forme cuillère. La tendance technique fonctionne à la manière d'une pression de sélection biologique qui produit et reproduit des formes similaires. Dans le domaine du vivant, on peut penser, pour prendre des recherches actuelles, à la morphologie du crabe, par exemple, qui s'est «réinventée» à partir de 5 lignées génétiques distinctes (Wolfe, Luque, Bracken-Grissom 2021). Les crabes se distinguent d'autres crustacés à dix pattes ou «décapodes» comme les homards ou les crevettes, par la présence d'un abdomen non seulement protégé par la carapace, mais aussi comprimé. Les crabes perdent la possibilité d'un mouvement rapide par flexion de l'abdomen, pour fuir les prédateurs, mais ils gagnent la possibilité de se faufiler entre les rochers pour se protéger. Tout se passe ici comme si l'évolution retrouvait une même solution morphologique au même problème, à diverses reprises, de manière indépendante.

La tendance technique chez Leroi-Gourhan fonctionne de manière analogue : «C'est parce que l'homme n'a pas d'autre prise sur le bois qu'en le coupant sous un certain angle, sous une pression déterminée, que les formes, les emmanchements des outils sont classifiables. Le déterminisme technique est aussi marqué que celui de la biologie.» Leroi-Gourhan évoque une tendance technique «charrue», «sur des échelles de temps et d'espace parfois considérables», une tendance à la réinvention du propulseur, de l'arc, etc. Mais ces similarités fonctionnelles résultant du «choix inévitable et limité que le milieu propose à la matière vivante» ne suffisent pas à expliquer les techniques telles qu'on les observe. À l'opposé de la tendance, il y a les «faits», c'est-à-dire la diversité prodigieuse des objets recueillis. «Le fait, à l'inverse de la tendance, est imprévisible et particulier. [...] C'est un compromis instable qui s'établit entre la tendance et le milieu.»

La notion de milieu technique apparaît ainsi pour expliquer la déviation de la tendance au fait : de la cuillère comme solution élémentaire à la préhension d'un liquide à la cuillère rituelle des

Haida avec toutes ses propriétés particulières. Leroi-Gourhan introduit alors une nouvelle analogie biologique, qui ne porte plus sur le rapport entre évolution et tendance, mais sur l'analogie entre vivant et société. Dans une première version, «métabolique», le groupe est comparé à un «organisme vivant»: «De même que l'animal ou la plante, pour qui les produits naturels ne sont pas immédiatement assimilables, mais exigent le jeu d'organes qui en préparent les éléments, le groupe humain assimile son milieu à travers un rideau d'objets (outils ou instruments). Il consomme son bois par l'herminette, sa viande par la flèche, le couteau, la marmite et la cuillère. Dans cette pellicule interposée, il se nourrit, se protège et se déplace.» Cette première image métabolique conduit, dans un deuxième temps, au modèle de la cellule: «Les techniques sont implicitement contenues dans le jeu de deux milieux: le milieu extérieur et le milieu intérieur du groupe humain. [...] Le milieu intérieur apparaît comme essentiellement vivant, instable comme celui d'une cellule animale dont le contenu est en perpétuel remaniement.»

L'interaction entre milieu intérieur, extérieur et tendance offre un modèle pour rendre compte de la diversité des faits techniques. L'un des apports théoriques les plus importants de cette approche est de fournir une théorie de l'invention, libérée d'un modèle diffusionniste. Dans le diffusionnisme, on suppose que l'invention se produit en un centre, plus avancé ou développé, et se diffuse progressivement à des périphéries plus ou moins reculées. Non seulement ce modèle néglige la possibilité de réinvention par convergence en fonction des mêmes contraintes, mais il accorde surtout un primat indu à l'invention. Or, emprunter et inventer, du point de vue du milieu, cela revient à peu près au même: l'emprunt est toujours une forme de réinvention partielle aux conditions du milieu intérieur. À l'inverse, la simple disponibilité de l'invention ne vaut jamais adoption. Les échecs d'emprunt, par infériorité, inertie ou plénitude technique, sont tout aussi significatifs et s'expliquent par des caractéristiques du milieu pour Leroi-Gourhan.

Dans cette première acception, on dira donc que toute technique est toujours relative à son milieu. Que ce milieu oriente le succès ou l'échec de l'adoption de techniques nouvelles et que sa prise en compte est indispensable à l'entreprise de conception qui ne peut que gagner à se focaliser sur les relations entre l'objet et son milieu.

3] Relations et constitutivité: «mi-lieu»

Cette première discussion sur l'élargissement nécessaire du regard, de l'objet vers son milieu, nous conduit à une deuxième caractéristique de la notion. Milieu n'invite pas simplement à se décentrer pour passer de l'objet à ce qui l'entoure, auquel cas milieu serait simplement synonyme d'environnement (voir le **chapitre 3** consacré à cette distinction). L'affaire la plus importante pour une conception orientée milieu consiste à prendre en compte la puissance productive de la mise en relation. Le bénéfice théorique le plus important de la notion de milieu repose sur l'adoption d'une «ontologie relationnelle», qui met l'accent sur le caractère constituant des relations. Le milieu n'invite plus seulement à élargir les échelles à considérer, mais il invite à regarder au «mi-lieu», là où les relations se produisent, plutôt qu'à se focaliser sur les objets ou les termes de la relation.

Cette puissance productive des relations peut paraître contre-intuitive et inutilement couper les cheveux en quatre. Nous sommes habitués à considérer que les objets précèdent leur mise en relation. Que les objets sont concrets et la relation abstraite. Qu'il y a d'abord les objets, qui existent de manière autonome, puis leurs relations éventuelles. Quel peut bien être l'intérêt de regarder les choses dans l'ordre inverse et se focaliser sur les mi-lieux? Un des principaux intérêts de cette conversion du regard tient à l'appréhension du changement dans des systèmes complexes. La conception n'est qu'un cas particulier d'un phénomène plus général.

À nouveau, les sciences du vivant offrent des ressources pour appréhender ce qui se produit avec les techniques. L'écologie théorique peut nous aider à comprendre les milieux techniques. Il ne s'agit plus seulement d'imaginer des technologies respectueuses de la nature ou biosourcées, mais de penser la technique à la manière des écosystèmes.

Une notion archi-classique en écologie, qui permet d'appréhender efficacement la puissance des relations, est celle de «cascades trophiques» (**figure 3**) Ces cascades résultent des interactions entre prédateurs et proies, qui sont l'élément de base de la modélisation des écosystèmes. Un cas particulièrement célèbre de cascade trophique est la réintroduction du loup, comme prédateur, dans le parc naturel de Yellowstone (Beschta & Ripple 2013; Ripple *et*

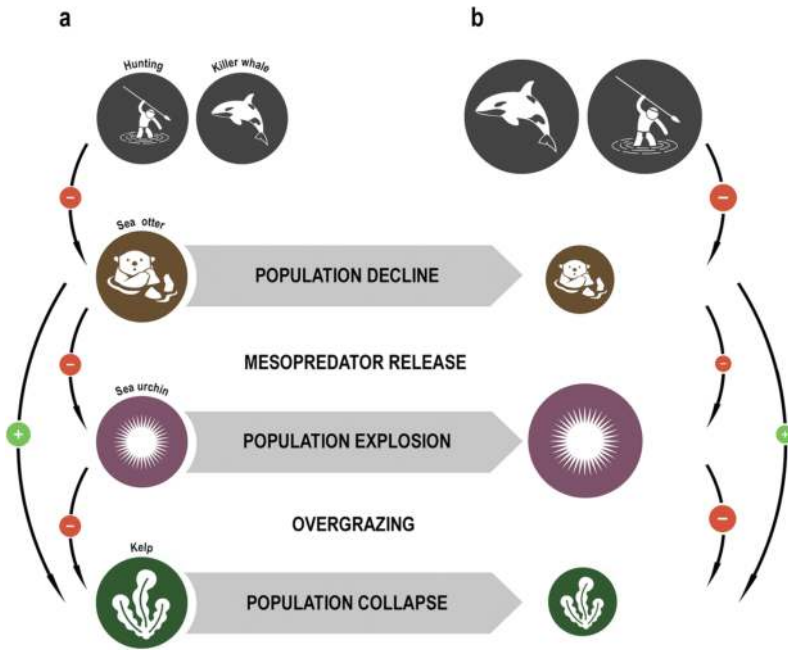


FIGURE 3. Représentation de deux trajectoires des écosystèmes à partir de Estes *et al.* (1998) : selon que les interactions sont à l'équilibre (a) ou perturbées suite à la disparition des loutres de mer (b). La taille des bulles représente l'importance de la variation des populations (CC BY 4.0: Thomas Luypaert, James G. Hagan, Morgan L. McCarthy and Meenakshi Poti).

al. 2014). L'élimination du loup avait conduit à une augmentation considérable des populations de wapitis qui avaient étendu leurs zones de broutage, conduisant à une réduction de la biodiversité. Si la réduction du nombre de wapitis était une conséquence immédiate attendue de la réintroduction du loup, celle-ci a produit de proche et proche des effets beaucoup plus surprenants. Un des cas les plus intrigants concerne l'effet de la réintroduction du loup sur la forme même des rivières. Une partie de l'explication tient au retour des castors, jusqu'ici privés de matériaux de construction, sous la forme des bois de saules, détruits par les wapitis. Les barrages des castors régulent le débit des rivières, permettent le dépôt des alluvions et transforment *in fine* les cours d'eau, sans compter tout un ensemble d'autres services écosystémiques. La morale de cette histoire est qu'il existe ici une chaîne de relations indirectes qui court du loup à la rivière et qui transforme la rivière par la présence du loup

(mais on peut aussi imaginer que le loup dépend à son tour de la rivière). Revenons à la question initiale : la rivière est-elle un objet indépendant, toujours déjà là, ou bien à l'inverse un nœud dans ce réseau d'interactions complexes qui forme le milieu ou l'écosystème, le produit instable de l'ensemble des interrelations à un moment donné ?

De fait, les cascades trophiques peuvent parfaitement modifier les termes eux-mêmes, y compris sur le plan évolutionnaire. Un cas particulièrement intéressant de ce point de vue est fourni par les interactions entre les loutres de mer et les forêts de varech. Chassée pour ses peaux, la loutre de mer a été décimée, à partir de la moitié du XVIII^e siècle. Il a fallu attendre 1910 pour qu'elle soit protégée, puis réintroduite dans les colonies qui avaient été décimées. La chaîne trophique est simple : les loutres de mer mangent les oursins qui mangent le varech. L'absence des loutres conduit à l'effondrement de l'écosystème avec la quasi-disparition des forêts de varech, du fait de la démultiplication des oursins libérés de leur prédateur. À l'inverse, la réintroduction des loutres permet la réapparition des forêts de varech qui produisent tout un ensemble d'effets sur l'écosystème, favorisant l'abondance des poissons (Reisewitz *et al.* 2006), la croissance des coquillages (Duggins *et al.* 1989), etc., jusqu'au stockage même du CO₂ (Wilmers *et al.* 2012).

Mais il a aussi été montré que la présence des loutres affecte la dynamique évolutive entre plantes et herbivores (Steinberg *et al.* 1995). Il existe, en effet, des forêts de varech sans loutres dans le sud-ouest du Pacifique. Sans prédateurs régulant la population des oursins, les plantes ont développé des défenses chimiques, sous forme de phlorotannins. Non seulement ces derniers sont quasiment absents dans l'hémisphère nord (1 % contre 10 % au sud), mais ils sont aussi beaucoup plus dissuasifs pour les herbivores de l'hémisphère nord que ceux du sud ; lesquels ont évolué pour résister aux défenses chimiques des plantes. Cet effet de coévolution orientée par l'absence ou la présence d'un prédateur de haut rang comme la loutre plaide en faveur d'une réciprocité entre les dimensions écologiques et évolutionnaires. Ici, très concrètement, la nature des termes dépend du réseau des relations. Si on ne pense pas d'abord par le « mi-lieu » et les relations, on ne comprend pas la nature des termes.

Existe-t-il quoi que ce soit d'équivalent à ce genre « d'influence serpentine » des cascades trophiques dans les milieux techniques ? Il faudrait commencer par rappeler que la dynamique des milieux « naturels » qui viennent d'être évoqués est intégralement liée à l'action technique humaine. Le genre d'expérimentations grandeur nature sur le fonctionnement des écosystèmes que l'on peut faire avec les loups de Yellowstone ou les loutres de l'Atlantique nord est le produit de l'histoire sociale et coloniale. Nos exemples d'écosystèmes étaient déjà subrepticement des exemples de milieux techniques, où la technique était simplement hors-champ !

Dans le domaine de la technique, l'analyse de l'échographie par le philosophe Peter-Paul Verbeek offre un bel exemple de constitutivité des relations. Verbeek s'inscrit dans la tradition de philosophie des techniques dite « post-phénoménologique ». Il s'intéresse en particulier à la manière dont les techniques redéfinissent le questionnement éthique. Son analyse des effets de l'introduction de l'échographie sur le « paysage éthique » de la grossesse produit une description particulièrement convaincante des effets constituants des techniques (auquel sera dédié le **chapitre 6**).

L'échographie est une technique qui repose sur l'émission d'ultrasons et permet d'obtenir, de manière non invasive, une image du fœtus. Dans la représentation ordinaire, la technique est célébrée comme une sorte de fenêtre transparente qui offre une première image, émouvante, de l'enfant à naître. Mais cette représentation occulte les effets constituants de l'échographie, sur le fœtus tout comme sur les parents et leur relation à l'enfant. « Non-invasive en un sens physique, l'échographie est loin de l'être au sens moral », argumente Verbeek (2008, p. 14). Ce dernier expose trois grandes classes d'effets constituants.

La première porte sur le fœtus lui-même, que l'échographie fait apparaître comme une sorte de personne miniature. Le premier biais de la représentation concerne la taille. À 11 semaines, au moment de la première échographie, le fœtus mesure environ 8,5 centimètres et pèse 30 grammes. Sa représentation sur l'écran lui donne plutôt la taille d'un nouveau-né. De surcroît, la technique construit une image du fœtus comme s'il était indépendant du corps de sa mère. Si on y ajoute le fait ce premier examen révèle aussi le sexe de l'enfant, que cette révélation conduit à l'attribution

d'un nom, l'échographie contribue à considérer le fœtus comme une personne ; ce qui confirme les enquêtes les plus récentes (Larrieu 2021). Ce qui est aussi la raison pour laquelle les images de première échographie sont régulièrement utilisées par les campagnes anti-avortement.

Mais l'échographie est en même temps un examen médical : le fœtus est constitué comme patient. Ce «en même temps» est intégré par les parents qui guettent sur le visage du praticien le résultat de l'examen de la clarté nucale. L'échographie transforme de manière radicale l'expérience «d'attendre un enfant...» au point qu'on aurait du mal à l'imaginer sans l'échographie aujourd'hui. Un ensemble de choix s'immiscent dans la grossesse : avoir ou non l'échographie, avec le risque que l'examen conduise à suspecter une malformation, ce qui amènerait un prélèvement de liquide amniotique avec un risque résiduel de fausse-couche, etc. Ce n'est pas simplement le fœtus qui est constitué de manière inédite, comme personne et patient, par l'examen, mais aussi toute la relation entre les parents et l'enfant à naître qui s'en trouve transformée. À commencer par la relation entre la mère et le fœtus. D'un côté, la relation n'est plus exclusive et l'échographie a tendance à augmenter l'engagement des pères envers l'enfant. Mais, d'un autre côté, la mère est elle-même constituée par l'échographie comme un environnement pour le fœtus. Cet environnement est potentiellement à risque, en fonction de ses habitudes et styles de vie ; ce qui justifie une forme de surveillance. « En constituant à la fois le bébé, le père et la mère de façon très spécifique, [l'échographie] aide à organiser une nouvelle relation entre les trois » (Verbeek 2008, p. 17).

Cette attention aux dimensions constituantes de l'examen a un impact direct sur la manière de considérer le rapport entre technique et éthique. La technique n'apparaît plus seulement comme un moyen neutre en vue d'un ensemble de buts, seuls chargés de moralité, comme par exemple la détection et le traitement précoce des anomalies potentielles du fœtus. La valeur de la technique ne se résume pas à savoir si elle est utilisée à de bonnes ou de mauvaises fins. La technique constitue un nouveau milieu pour la décision éthique. Il faut donc considérer qu'elle peut être porteuse de valeurs par les agencements nouveaux qu'elle produit et non comme un simple instrument qui nous donnerait accès à une réalité «origi-

naire», toujours déjà-là. De proche en proche, c'est toute l'expérience de la parentalité, de ce que c'est que d'attendre un enfant, qui est transformée de manière irréversible.

La difficulté de cette propriété de constitutivité est qu'elle peut très facilement glisser vers une proposition triviale. Tout le monde s'attend à ce que les techniques transforment nos capacités d'action. C'est bien pour cela que nous avons des techniques ! Mais la constitutivité dit quelque chose de plus : non pas seulement, il est possible de voir le fœtus, qui était déjà-là, mais notre rapport au fœtus est constitué, de manière inextricable, par le dispositif technique qui permet de le « voir »... si tant est que le verbe « voir » soit encore approprié pour une technique qui produit une image à partir du son. Le caractère naturel et évident du voir, comme s'il y avait des sujets déjà-là (mère et père) qui regardent un objet déjà-là (le fœtus), occulte la façon dont la nouvelle relation instrumentée transforme chacun de ses termes. La technique n'agit pas seulement comme moyen neutre, vis-à-vis d'un objectif déjà présent. Elle transforme les moyens et les fins. Elle constitue des milieux nouveaux chargés de problèmes et de possibilités inédites (encadré 4).

Encadré 4. La constitution du « milieu associé » chez Gilbert Simondon

Extrait commenté : Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1989, p. 50-56.

La philosophie des techniques de Gilbert Simondon propose un modèle particulièrement influent pour penser la constitutivité technique, focalisé sur le primat des relations. Nous pouvons revenir à l'exemple classique de la turbine Guimbal, objet-paradigme de la philosophie de Simondon (Bontems 2009) (figure 4). Ce modèle de turbine, couplée à une génératrice de courant et installée à l'usine marémotrice de la Rance, illustre le paradoxe de l'invention. Tout l'enjeu ici consiste à comprendre que l'objet n'est possible qu'à partir du moment où toutes les inter-relations qui forment son « milieu associé » sont déjà là. Contrairement à nos exemples précédents, il n'y a plus de transformation de proche en proche des termes par de nouvelles relations, en « cascade », mais un « saut sur place », instantané.

L'ingéniosité qui impressionne Simondon consiste à intégrer la génératrice directement à la turbine dans la conduite forcée de l'usine marémotrice ou du barrage. Mais cette intégration suppose

que la génératrice soit de taille suffisamment petite pour entrer dans la conduite forcée. Or, cette petite taille introduit une contrainte en matière d'échauffement. Mais celle-ci est précisément résolue par l'immersion de l'alternateur : «L'eau devient plurifonctionnelle : elle apporte l'énergie actionnant la turbine et la génératrice, et elle évacue la chaleur produite dans la génératrice.» La condition pour immerger la génératrice est donc qu'elle soit immergée, dans la mesure où l'immersion permet le refroidissement et donc la petite taille ! Mais les contraintes ne s'arrêtent pas là : pour immerger l'alternateur, il faut le protéger. Dans le design de Guimbal, cette protection est obtenue par le fait de placer l'alternateur dans un carter, rempli d'huile sous pression. A nouveau, l'huile est plurifonctionnelle : elle isole le carter par pression, elle le lubrifie mécaniquement et elle conduit la chaleur.

La turbine Guimbal offre donc un modèle saisissant d'adaptation relationnelle : l'objet n'est rendu possible que par l'intégration synthétique d'un ensemble de relations qui s'entre-composent. Il ne s'agit plus de suivre, par «cascade» les effets d'une perturbation sur le milieu, mais d'appréhender l'objet lui-même comme «concrétisation» de ces relations, à l'intérieur de l'objet comme dans la production du «milieu associé» formé par la génératrice immergée dans la conduite forcée. Sans ce tissu d'inter-relations, la turbine Guimbal est impossible. C'est tout le paradoxe de l'invention chez Simondon : elle «suppose le problème résolu» pour être viable. «C'est grâce aux conditions nouvelles créées par la concrétisation que cette concrétisation est possible.»

Dans l'exemple, l'invention ne consiste donc plus à s'adapter, pas à pas, à un milieu déjà donné, mais fonctionne comme co-création et de l'objet et de son milieu associé : «L'adaptation-concrétisation

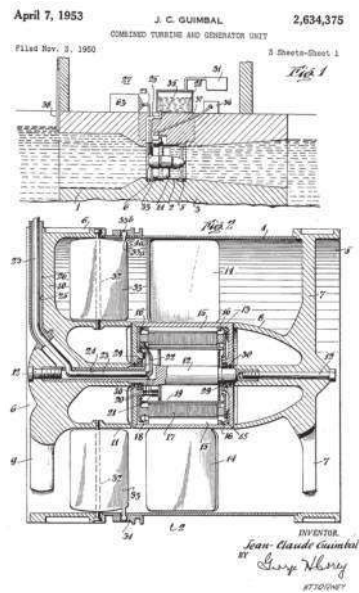


FIGURE 4. Schéma de fonctionnement de la turbine Guimbal dans le brevet déposé en 1950. Le brevet explicite tout particulièrement le rôle plurifonctionnel de l'huile (63, 23) qui assure à la fois lubrification, isolation et conduite de la chaleur.

est un processus qui conditionne la naissance d'un milieu au lieu d'être conditionnée par un milieu déjà donné [...]. L'objet technique est donc la condition de lui-même comme condition d'existence de ce milieu mixte, technique et géographique à la fois.» Concevoir, c'est concevoir le couplage entre objet et milieu. Ici, il est évident que les termes ne préexistent pas à la relation. C'est par la relation que les termes sont rendus possibles.

On pourrait cependant discuter l'échelle à laquelle considérer le milieu associé : celui-ci se réduit-il à la turbine, à la conduite, faut-il y inclure le barrage ou l'usine marémotrice, jusqu'au «milieu géographique?» La notion de «milieu associé» chez Simondon est sans doute plus restrictive que celle de «milieu technique». Si elle nous évite les incertitudes d'un milieu qui se dévide à l'infini, comme chez Leroi-Gourhan, elle présente aussi l'intérêt d'offrir des exemples particulièrement nets du caractère constituant des relations dans l'invention technique.

4] Réflexivité : « au milieu »

Cette propriété de constitutivité des relations conduit mécaniquement à une troisième propriété de la notion de milieu : la réflexivité. Si la technique doit être considérée comme un ensemble de relations constitutives, cette constitutivité s'applique aussi à nous-mêmes, comme on le voyait déjà dans le cas de l'échographie. Nous retrouvons ici la thèse de «la technique anthropologiquement constitutive.» Cette posture théorique dissout l'idée d'un primat de la nature par rapport à la technique. Nos capacités d'agir comme de penser apparaissent sous condition de la technique. Cette réflexivité (3^e propriété) qui se déduit de la constitutivité (2^e propriété) reboucle avec les effets d'échelle du milieu (1^{re} propriété) : elle implique, en effet, qu'il n'existe pas de position de surplomb, absolue, c'est-à-dire déliée, détachée, sur les milieux. Nous sommes toujours au milieu des mi-lieux. Nous les constituons, du mieux que nous pouvons, comme objets de connaissance alors qu'ils constituent nos possibilités même de connaissance. Il n'y a pas de point de vue du dehors ou sinon construit patiemment avec les moyens du dedans. Dit autrement, le point de vue du dehors, l'objectivité, dépend toujours d'un ensemble de techniques et d'instruments : l'objectivation du milieu est sous condition du milieu. On n'en sort pas.

Cette réflexivité radicalise la distinction entre milieu et environnement (**encadré 5**). L'environnement n'est pas seulement la totalité des facteurs, mais aussi ce que l'on peut observer de manière objective, dans une position d'extériorité. Le milieu ne se contente pas de nous environner, il nous constitue autant que nous le constituons. Si bien que, pour reprendre la formule de Victor Petit, «pour changer d'environnement, il suffit de le modifier, tandis que pour changer de milieu, il faut se modifier soi-même» (Petit 2015, p. 33). Victor Petit insiste sur les affinités historiques entre la naissance du design comme discipline et cette catégorie d'environnement. L'architecte Buckminster Fuller fournit l'idéal-type de ce design de l'environnement, qui regarde le «vaisseau spatial terre» comme une vaste machine, dont on pourrait connaître et simuler les ressorts, de façon à en assurer la soutenabilité globale. Cette philosophie du design tire un trait des premières conceptions de la biosphère chez Vernadsky jusqu'à la géoingénierie contemporaine : la terre est un système complexe à maîtriser. La voie privilégiée est celle d'un management technoscientifique du système qui relègue les valeurs et la politique au second plan. Elle pourrait emprunter sa maxime au mouvement saint-simonien, la matrice de nombre de philosophies politiques d'ingénieur : «substituer au gouvernement des hommes l'administration des choses» (Picon 2002).

Encadré 5. Le perspectivisme des milieux chez Uexküll

Extrait commenté : Jakob von Uexküll, *Milieu animal et milieu humain*, Rivages, 2010, p. 31-45.

La propriété de réflexivité des milieux techniques peut nous entraîner dans une autre direction que l'artificialisme et l'intérêt pour les technologies cognitives. Cette propriété nous renvoie, en effet, à l'une des conceptions les plus célèbres du milieu, au moins aussi décisive que celle rencontrée chez Leroi-Gourhan, que l'on trouve chez l'éthologue Jakob von Uexküll. Il distingue explicitement entre l'environnement (*Umgebung*), terme objectif, identique pour tous, comme une sorte de contenant externe, et les milieux (*Umwelt*) qui correspondent aux mondes vécus des espèces vivantes. Le critère du milieu est ici le fait qu'il se déploie à partir de la perspective singulière d'un vivant, en fonction de son appareil sensoriel et moteur.

C'est l'exemple si célèbre du monde vécu de la tique. Celui-ci se réduit aux dimensions les plus élémentaires. Ça fait quoi d'être

une tique? L'animal est privé d'yeux et ne répond qu'à trois signes-perceptifs: «l'odeur d'acide butyrique qui se dégage des follicules sébacés de tous les mammifères», à laquelle elle réagit en se laissant choir de son poste de garde; si elle ne détecte pas de chaleur – seconde perception – elle remonte et recommence; si elle détecte de la chaleur, elle sait qu'elle a atteint sa proie et elle s'oriente alors au moyen du toucher – dernière perception – vers un endroit le moins pourvu en poils. Puis, elle enfonce sa tête dans le tissu pour pomper le sang de son hôte. C'est un «festin de mort», commente Uexküll, dans la mesure où une fois l'opération achevée, il ne reste plus à la tique qu'à se laisser choir, déposer ses œufs et mourir.

«Toute la richesse du monde entourant la tique se racornit et se transforme en un produit pauvre, composé pour l'essentiel de seulement trois signes perceptifs et trois signes actanciels: c'est son milieu. La pauvreté du milieu conditionne cependant la certitude de l'activité, et la certitude est plus importante que la richesse. À partir de l'exemple de la tique se laissent déduire, comme on le voit, les principes fondamentaux de construction des milieux qui valent pour tous les animaux.»

Cet exemple si célèbre pourrait cependant apparaître à double tranchant: le milieu de la tique est si pauvre et si déterministe qu'il paraît soutenir la thèse de la réduction de l'animal à une machine. Or, c'est précisément l'inverse que défend Uexküll: l'animal est authentiquement sujet de son monde (Lestel 2001). L'intérêt de l'exemple de la tique réside dans la distance à notre propre expérience. La diversité des mondes perçus disqualifie le concept mécaniste d'environnement, entendu comme un contenant universel, un espace-temps objectif, qui vaudrait pour tous. C'est le deuxième secret de la tique: elle possède un temps propre. La tique peut survivre, explique Uexküll, jusqu'à dix-huit ans sans se nourrir, en attente de sa proie. Alors que l'instant physiologique humain se situe autour d'1/18 de seconde (comme le montre, selon Uexküll, le phénomène de la persistance rétinienne bien connu au cinéma), l'instant de la tique peut donc s'étirer jusqu'à dix-huit ans. «Sans sujet vivant, il ne peut y avoir ni espace, ni temps.» «La croyance en l'existence d'un monde unique dans lequel sont imbriqués tous les vivants», apparaît comme une illusion tenace.

Ceci étant, le perspectivisme radical d'Uexküll, où chaque milieu est projection à partir d'un centre vivant, pose la question des mondes communs. Les milieux se composent de manière plus ou moins contradictoire. Cette délimitation d'un monde commun

est une exigence à laquelle on ne peut échapper sur le plan de la conception.

Ce design de l'environnement partage un certain nombre d'engagements avec la conception orientée milieux, à commencer par l'intérêt pour les questions de soutenabilité, envisagées à partir d'une perspective holistique. Pour autant, la notion de milieu instaure un ensemble de divergences cruciales par rapport à cette perspective d'un design de l'environnement (voir le **chapitre 4**). Le principe d'une maîtrise globale du système Terre y apparaît comme une chimère de la raison, pour reprendre Kant, qui nous conduit droit dans le mur. À la place, il nous faut faire avec la réflexivité du milieu et le caractère irréductible de l'engagement éthique et politique qui en découle. Le travail d'objectivation est absolument indispensable, mais tout ne se résout pas de manière objective. Qu'on le veuille ou non. Reconnaître ces limites plutôt que de se complaire dans le mythe d'une maîtrise qui n'existe pas est une étape cruciale. Si le mythe est confortable pour la conscience, il est particulièrement dangereux dans l'action.

Examinons à nouveau quelques textes-ressources quant à cette propriété de réflexivité des milieux. L'idée selon laquelle les techniques sont anthropologiquement constituantes peut s'illustrer à travers l'ouvrage classique de l'anthropologue Jack Goody, *La Raison graphique*, qui cherche à montrer comment les dispositifs d'inscription, de l'écriture jusqu'à la mise en tableau, fonctionnent comme d'authentiques «techniques cognitives.» La thèse que soutient Goody est que l'écriture n'est pas un simple instrument de restitution de l'oralité ou de la pensée, mais qu'elle forme un nouveau milieu pour l'intellect.

L'écriture n'est pas un simple enregistrement phonographique de la parole [...]. Dans des conditions sociales et technologiques qui peuvent varier, l'écriture favorise des formes spéciales d'activité linguistique et développe certaines manières de poser et de résoudre les problèmes : la liste, la formule et le tableau jouent à cet égard un rôle décisif. Si l'on accepte de parler d'une «pensée sauvage», voilà ce que furent les instruments de sa domestication (Goody 1979, p. 267).

Comme avec l'exemple de l'échographie de Verbeek, la description est susceptible d'une double lecture plus ou moins radicale.

La question du rapport entre la pensée et ses marques est une vieille question de la philosophie. Dans une optique cartésienne, on considérera que le langage est une réalité seconde par rapport à la pensée vécue en première personne, que le langage est toujours susceptible de trahir cette pensée originaire, que les mots nous font défaut pour traduire la pensée. Dans cette perspective, il est évident que le langage et ses marques matérielles, d'abord sonores puis graphiques, influencent notre pensée. Cette influence est perçue comme un risque, celui du détournement d'une nature première. À l'inverse, dans une tout autre optique dont le philosophe Thomas Hobbes est sans doute l'instigateur, la pensée apparaît comme une faculté artificielle, sous conditions des marques techniques. Hobbes est sans doute le premier à parler d'intelligence artificielle pour qualifier non pas une technique... mais notre propre forme d'intelligence (Hobbes 1921, p. 58). La première intelligence artificielle, c'est nous ! La pensée dépend des marques matérielles que nous déployons pour l'organiser. Sans ces marques, le discours intérieur se réduit à une succession de sensations vaguement ordonnées par le désir. On ne va pas très loin avec ça sur le chemin du raisonnement.

Bernard Stiegler, notamment, a développé cet artificialisme radical dans le champ de la philosophie : nos formes de pensées, même celles qui apparaissent comme les plus intimes, relevant d'une intuition originaire pour la phénoménologie, sont traversées par la technique. Dans cette perspective, les techniques deviennent un problème crucial pour la philosophie, à commencer par l'écosystème médiatique qui assure la fabrique d'une pensée commune. Le soin de nos techniques cognitives devient un enjeu concret.

En matière de conception, cette propriété de réflexivité est cruciale : d'abord parce qu'elle éloigne la perspective d'un design de l'environnement, ensuite parce qu'elle invite à considérer que les conditions d'exercice du projet de conception, à commencer par la constitution des collectifs qui conçoivent, font partie, au sens plein, de l'activité conceptrice. La conception ne peut faire l'économie du soin accordé à son propre milieu technique (Beaubois 2022).

5] Normativité

La propriété de réflexivité conduit à une dernière dimension caractéristique de la notion de milieux : la normativité. Les milieux

sont chargés de valeurs. C'est évident si on pense à cet exemple d'Uexküll : si les raisins secs dans le gâteau sont un signe perceptif d'une importance biologique particulière pour le gourmet, il n'en va pas de même pour la tique qui ne perçoit que l'acide butyrique, lui-même indifférent au gourmet. Les milieux sont tissés de valeurs qui diffèrent pour chaque vivant. Au-delà du perspectivisme d'Uexküll, ces dimensions de valeurs étaient déjà présentes dans nombre d'exemples convoqués : les luttes autour du milieu de la voiture, la cuillère des Haïdas avec sa fonction rituelle, l'échographie de Verbeek... Toute opération de conception doit faire avec cette composition de valeurs.

Mais la normativité nous dit quelque chose de plus. Les milieux ne sont pas seulement traversés de normes et de valeurs – c'est forcément toujours le cas –, mais ils sont plus ou moins à même de permettre un jeu avec les normes et les valeurs, l'invention de normes et de valeurs nouvelles face au changement, ou la composition de normes et de valeurs nouvelles à la croisée entre les milieux (encadré 6). Les discussions contemporaines autour d'un concept comme le plantacionocène offrent une bonne illustration de ce lien entre normativité et milieux, qui nous ramène encore une fois aux modèles écologiques. La plantation industrielle apparaît comme le paradigme d'un milieu radicalement rétréci et aliéné, sur le plan écologique autant qu'humain, entamé dans sa normativité, à la merci des maladies et accidents. Si bien que la plantation ne laisse plus, après son exploitation, que des ruines.

Encadré 6. Milieux et normativité chez Georges Canguilhem

Extraits commentés : Georges Canguilhem, *La Connaissance de la vie*, Vrin, 1967, p. 39 et Georges Canguilhem, *Le Normal et le pathologique*, PUF, 1991, p. 130-134.

«Même chez une amibe, affirme Georges Canguilhem, vivre, c'est préférer et exclure. Le philosophe est certainement l'auteur-clé dans la tradition pour lier milieu et normativité. C'est à cette redéfinition du rapport entre normes, santé et milieu que s'emploie son œuvre.

Le premier texte que l'on peut mobiliser est la «parabole du hérisson», commentée dans *La Connaissance de la vie*. Cette parabole, empruntée à la pièce *Électre* de Jean Giraudoux, illustre l'hétérogénéité des perspectives de chaque vivant et la composition des milieux. Dans la pièce, un personnage se lamente sur la fatalité qui

pousse le hérisson à la mort en traversant la route. Cette complainte a peut-être un sens métaphysique, liée au destin ou au tragique, mais elle est dénuée de sens biologique, objecte Canguilhem. «Les hérissons, en tant que tels, ne traversent pas les routes. [...] Ce sont les routes de l'homme qui traversent le milieu du hérisson.» La parabole pose ainsi à nouveaux frais la question de la composition des milieux. Canguilhem ne l'oriente cependant pas, dans ce passage, vers une réflexion éthique – quant à la responsabilité de composer avec la logique des autres milieux vivants dans les milieux humains – mais vers une conclusion épistémologique: la science biologique fonctionne comme la route, elle ne prend pas le hérisson dans son milieu, mais substitue à la perspective du vivant une objectivité qui la nie. Cette nécessité de considérer le vivant comme sujet, porteur de valeur, dans son milieu prolonge les engagements théoriques de l'éthologie d'Uexküll.

Mais la notion de milieu est encore impliquée dans une autre direction, en lien avec les questions de la maladie et de la santé. Cette réflexion sur la médecine s'appuie, chez Canguilhem, sur le travail du psychiatre Kurt Goldstein. Celui-ci propose une nouvelle définition du normal et du pathologique comme le produit d'un rapport au milieu. Ainsi, la maladie n'est plus l'anormal, conçu comme déviation objective et mesurable par rapport à la moyenne statistique observée en population générale. La maladie est rétrécissement du milieu. «Comme le dit Goldstein, les normes de vie pathologique sont celles qui obligent désormais l'organisme à vivre dans un milieu "rétréci", différant qualitativement, dans sa structure, du milieu antérieur de vie, et dans ce milieu rétréci exclusivement, par l'impossibilité où l'organisme se trouve d'affronter les exigences de nouveaux milieux, sous forme de réactions ou entreprises dictées par des situations nouvelles. Or, vivre pour l'animal déjà, et à plus forte raison pour l'homme, ce n'est pas seulement végéter et se conserver, c'est affronter des risques et en triompher. La santé est précisément, et principalement chez l'homme, une certaine latitude, un certain jeu des normes de la vie et du comportement. [...] L'homme n'est vraiment sain que lorsqu'il est capable de plusieurs normes, lorsqu'il est plus que normal.» La santé s'interprète ici comme normativité, elle-même entendue comme une capacité à se mouvoir à l'articulation de milieux divers et aux demandes normatives hétérogènes; ce qui suppose d'inventer de nouvelles normes.

Le concept de milieu traverse ainsi toute l'œuvre de Canguilhem, connectant philosophie de la médecine, philosophie de la biologie et

philosophie de la technique. Peut-on relire la parabole du hérisson à l'aune des textes sur la normativité? Cela nous conduirait à envisager une double responsabilité envers les milieux. Inévitablement, il y a à composer avec des perspectives hétérogènes. Cependant, le souci ne peut porter simplement sur la conservation des milieux, mais aussi sur la normativité et la capacité à affronter les changements. La conjugaison des deux extraits de texte esquisse ce qui pourrait être une forme d'éthique des milieux, opposant les formes de vie assignées à des univers rétrécis et la normativité, capacité qui surgit à l'entrecroisement des mondes.

L'ouvrage *Le Champignon de la fin du monde* de l'anthropologue Anna Tsing propose ainsi une typologie normative des milieux où la plantation apparaît comme le modèle négatif par excellence. L'enquête de Tsing est consacrée à la trajectoire écologique et humaine de quatre forêts dans lesquelles pousse le champignon matsutake, dans l'Oregon, en Finlande, au Yunnan et au Japon. Le terme de milieu n'est jamais très loin dans l'ouvrage : sa dernière partie s'intitule «In the Middle of Things». Et «milieu» s'invite même dans la traduction française sans expression équivalente dans le texte original ! Si Tsing privilégie les termes «d'agencements», de «patches», «d'enchevêtrements», son insistance sur l'hétérogénéité, l'imprédictibilité, l'historicité et les relations nous ramène sans détour aux propriétés que nous avons identifiées.

La plantation est caractérisée par la logique de ce que Tsing appelle la «scalabilité» : uniformiser le milieu, rendre les individus interchangeables, contrôler l'ensemble des paramètres, maintenir un état stable, reproductible quelles que soient les conditions locales.

À l'apogée de l'exploitation forestière [...], on a procédé à une monoculture dite équienne, basée sur des peuplements d'arbres de même espèce et d'âge égal. Une telle gestion nécessitait beaucoup de travail. Les espèces d'arbres dont on ne voulait pas et, donc, par la même occasion, toutes les autres espèces végétales étaient pulvérisées avec des herbicides. Le feu était absolument exclu. Des équipes de travailleurs aliénés plantaient des arbres «supérieurs». L'élagage était brutal, régulier et généralisé. L'espacement était prévu pour un rendement maximal et un travail entièrement mécanisé. Les arbres à bois d'œuvre étaient un nouveau genre de cannes à sucre : gérés pour croître de manière uniforme, sans

interférences multispécifiques, taillés et récoltés par des machines et des travailleurs anonymes (Tsing 2017, p. 83).

La plantation défait les effets de milieux en limitant drastiquement les interrelations pour contrôler la production d'individus calibrés et interchangeables. L'enquête de Tsing ne porte cependant pas sur la plantation, mais sur ce qui se produit par la suite, dans les ruines des sites industriels. Dans l'Oregon, le modèle de la plantation industrielle s'est effondré. Une fois épuisés les pins ponderosas, les grands arbres de valeur qui avaient justifié l'exploitation forestière, la repousse n'a pas donné les résultats escomptés. De nouvelles espèces de sapins et pins tordus ont pris la place, sans assurer la rentabilité escomptée. La sylviculture a été progressivement abandonnée. Mais un effet inattendu se produit alors : le matsutake, champignon apprécié au Japon, doté d'une grande valeur économique, apparaît dans les ruines de la plantation industrielle. Or, le matsutake est l'antithèse de la plantation. Non seulement personne n'a jamais réussi à le cultiver, mais il repose sur des effets de mutualisme complexes entre les espèces, qui mettent des années à produire leurs effets.

Contrairement aux clones de canne à sucre, les matsutake montrent avec évidence qu'ils ne peuvent pas vivre sans relations cotransformatrices avec d'autres espèces. Les champignons matsutakes forment la structure reproductrice d'un mycélium souterrain qui ne s'associe qu'à certains arbres de la forêt. [...] Ce mutualisme transformatif a rendu impossible la culture humaine des matsutakes (Tsing 2017, p. 81).

Les matsutake bénéficient ainsi de la colonisation par les pins tordus, qui eux-mêmes ont profité de l'effet combiné de l'abattage des pins ponderosas, lesquels leur faisaient littéralement de l'ombre, et du contrôle des feux de forêt, auxquels ils sont particulièrement sensibles, dans la stratégie d'exploitation forestière.

Cette forêt de l'Oregon, qui retrouve des formes de «vie dans les ruines» de l'exploitation industrielle, n'est que l'une des histoires qu'explore Tsing. Le modèle diffère de la sylviculture contrôlée finlandaise, des forêts paysannes du Yunnan ou des projets de revitalisation des forêts japonaises. Le cas du Japon offre un modèle d'action technique valorisé, caractérisé par une écologie riche des relations entre humains et non-humains. Dans le cas du Japon

aussi, le *matstutake* est un contrecoup de l'exploitation humaine de la forêt. Pour avoir du *matstutake*, il faut des pins et pour avoir des pins, il faut des perturbations humaines délibérées liées historiquement à l'exploitation de la forêt par les communautés villageoises. Tsing suit des collectifs engagés dans des projets de revitalisation du *satoyama*, la zone boisée au pied des collines et à la limite des terres arables.

Le paysage du *satoyama* est un milieu actif :

Il faut perturber pour restaurer, mais en prenant soin d'encourager la diversité et un fonctionnement sain des écosystèmes. [...] On pourrait dire que les pins, les *matsutakes* et les humains se cultivent les uns les autres de manière involontaire. Ils rendent possibles pour chacun d'entre eux des projets de fabrication d'un monde (Tsing 2017, p. 230).

Le modèle japonais se caractérise par sa dimension normative : il enrichit l'existence de nouvelles relations et normes.

La revitalisation du *satoyama* prend en charge le problème de l'anomie en ce qu'elle encourage les relations sociales avec d'autres êtres. Les humains deviennent là un acteur parmi tant d'autres dans le tissu d'une viabilité. [...] Au tournant du siècle, plusieurs milliers de groupes de revitalisation du *satoyama* ont surgi à travers tout le Japon. Tantôt ils mettent l'accent sur la gestion de l'eau, l'éducation à la nature, tantôt sur l'environnement nécessaire à une fleur particulière, voire aux champignons *matsutakes*. Tous sont engagés dans une reconstruction des humains comme des paysages. Pour se reconstruire, les groupes citoyens mixent science et savoirs paysans. [...] Au cours de ce processus, les volontaires acquièrent la patience qu'il faut pour se mêler aux autres espèces sans savoir à l'avance où ce monde en devenir les emmènera (Tsing 2017, p. 381-382).

Ce détour par l'enquête de Tsing pose une question simple, mais à laquelle il est affreusement difficile de répondre avec certitude : quel milieu laissons-nous à l'issue de la conception ? Avons-nous entretenu la logique du rétrécissement du milieu qui caractérise la plantation ? Ou, au contraire, avons-nous produit une action technique qui enrichit le milieu en relations et savoirs ?

6] Trois usages de milieux pour la conception

Ce portrait des milieux nous conduit ainsi à quatre propriétés interconnectées : la composition des échelles, la constitutivité, la réflexivité et la normativité. Ces propriétés dessinent plusieurs effets de milieux qui sont utiles à la conception. Ce sont ces effets et les manières de les prendre en compte qu'explore en détail le reste de cet ouvrage.

Adoptons la maxime suivante :

Les milieux imposent de changer d'échelle, de scruter les relations et leurs effets constituants, y compris pour nous-mêmes, à ne pas esquiver les conflits de valeurs.

Pour conclure, distinguons entre trois figures des milieux pour la conception. La conception orientée milieux est-elle «conception des milieux»? Ou bien «conception par les milieux»? Ou encore «pour les milieux»? Trois figures : des, par, pour.

La première formule vise à dissiper un malentendu sans doute inévitable, vu le portrait historique que nous avons dressé de la notion. Il est crucial de rappeler, encore et toujours, que la conception orientée milieu ne peut être une conception des milieux. Si tel était le cas, nous perdriions ce qui fait l'intérêt du concept pour réintroduire subrepticement cette autre figure de la totalité qu'est l'environnement ou la biosphère.

L'illusion est difficile à balayer. Comment ne pourrions-nous pas espérer posséder un jour la théorie du tout? Ou espérer, par exemple, que les problèmes d'éco-conception soient in fine solubles dans les analyses de cycle de vie? Alors nous saurions tout ce qu'il y a à savoir et pourrions agir de manière optimale, en connaissance de cause. Mais les choses ne se passent pas ainsi. Chacun sait que les ACV sont incomplètes. Il suffit de rappeler, à titre d'exemple, qu'une société comme Fairphone qui a fait de la traçabilité éthique de ses composants sa mission ne parvenait à *sourcer* en 2020 que la moitié des provenances (Fairphone 2021). Mais ne peut-on espérer à l'avenir faire mieux? À l'évidence. Et il le faut. De fait, Fairphone a déjà réussi à doubler la part des matériaux *sourcés* entre 2018 et 2020. Mais la traçabilité totale pose d'autres problèmes. Par «en bas», il y a toujours des éléments qui résistent à l'objectivation et sont difficiles à prendre en compte dans les modèles ou font

l'objet de débats, comme les pollutions à très long terme de l'activité minière ou les impacts sur la biodiversité. Comment les quantifier ? La connaissance des milieux sur site, à la manière de l'enquête de Tsing, apparaît ici irréductible à la quantification homogénéisante que suppose cette méthode.

Mais, « par haut », le mode de calcul des modélisations est encore sujet à controverse. C'est le « problème de l'allocation » : faut-il rapporter les impacts d'un produit en fonction de variables comme la masse ou la valeur économique du produit ? Le choix de l'allocation, entre variable physique ou économique, change du tout au tout le regard sur les impacts d'un produit, qui peut apparaître viable ou non selon la variable choisie. Comment décider alors ? In fine, la décision est irréductiblement politique (pour une discussion approfondie, voir le **chapitre 10**). Par en bas, les milieux résistent à l'objectivation. Par en haut, les modèles ne peuvent s'autofonder. Et pourtant, il est difficile de ne pas en revenir toujours à cette illusion tenace d'un design des milieux. À la fin, il y a toujours des décisions impliquant des valeurs qui conduisent à paramétrer les modèles de telle ou telle manière. Et pour lesquelles nous sommes démunis, si nous ne pouvons imaginer d'autres démarches et savoirs pour concevoir.

S'il faut abandonner l'illusion de concevoir des milieux, reste la possibilité de concevoir « par les milieux. » Nous entendons « par les milieux » comme une méthode qui embrasse le caractère régulateur des milieux pour la connaissance. Concevoir implique de chercher à repérer et anticiper des effets de milieux, que l'on ne saurait pour autant prédire. Comment anticiper ce que l'on ne peut prédire ? C'est l'objet des chapitres qui suivent : d'abord en s'imprégnant d'un ensemble de savoirs élargis, de la biophysique aux sciences sociales ; ensuite, en mettant en place des démarches qui préservent cette capacité d'attention. Ces savoirs et démarches nous donnent une manière de nous orienter dans les situations de conception ; ce qui est une définition possible de la méthode, débarrassée de toute illusion de méthodologie. Étymologiquement, la méthode est chemin et orientation, et non procédure à suivre. Elle nous donne la carte et la boussole, mais ne fait pas l'économie du paysage. Ces savoirs et démarches sont prudents. Ils sont irréductiblement

historiques, imbriqués dans la connaissance des cas. Leur étude aiguisé le regard.

Mais concevoir par les milieux, en faisant des milieux une méthode, ne suffit pas. Cette figure de la conception par les milieux n'épuise pas l'exigence de normativité qu'emporte la notion. Qu'on le veuille ou non, concevoir c'est toujours s'engager. La notion de milieu nous éloigne des éthiques instrumentales qui considèrent que la morale est réservée aux buts élevés que se donne le projet – et il s'agit toujours de *make the world a better place*, alors même que le réel nous donne constamment tort. Concevoir pour les milieux nous oblige à l'inverse à prendre soin du normatif dans les milieux. Quel monde est-ce que nous laissons à l'issue de la conception? Quelle forêt de Tsing? Cette question n'a aucune issue déterminée à coup sûr, objectivement. Et pourtant, elle ne peut pas ne pas se poser. Rien ne peut dénouer *a priori* le nœud de savoirs et de responsabilité qu'implique l'activité de concevoir.

Terminons sur la maxime suivante: *Renonce à concevoir des milieux, mais conçois par et pour les milieux.*

Pour aller plus loin

FEUERHAHN Wolf (2017), «Les catégories de l'entendement écologique: milieu, Umwelt, environnement, nature», in G. Blanc, E. Demeleunaere, W. Feuerhahn (dir.), *Humanités environnementales. Enquêtes et contre-enquêtes*, Publications de la Sorbonne, p. 19-42.

Les travaux de Wolf Feuerhahn offrent une généalogie particulièrement efficace des tensions qui traversent la notion de milieu, à la frontière entre les usages en France et Allemagne.

SCHILTHUIZEN Menno (2008), *The Loom of Life: Unravelling Ecosystems*, Springer.

Un excellent ouvrage de vulgarisation d'écologie théorique qui s'ouvre sur l'exemple de Biosphere 2 avant de rendre compte des notions élémentaires pour la compréhension du fonctionnement des écosystèmes, en se référant à chaque fois de manière efficace aux articles clés.

TSING Anna (2017), *Le Champignon de la fin du monde*, La Découverte
 Une illustration magistrale de ce dont sont capables les études sciences, techniques et société. L'enquête au long cours suit la résurgence du champignon matsutake dans les forêts dévastées par l'agroforesterie industrielle. Il est constamment question de milieux, sans que le terme

ne soit thématiqué. Nous y retrouvons nombre de dimensions du concept : l'enquête infinie et l'entrecroisement des échelles, la singularité des assemblages et la non-scalabilité, l'ontologie relationnelle, l'entrecroisement entre savoirs et pratiques, les questions de soin des milieux, de prolétarianisation...

Bibliographie

- ANICHINI Giulia & GEFFROY Bénédicte (2021), «L'intelligence artificielle à l'épreuve des savoirs tacites. Analyse des pratiques d'utilisation d'un outil d'aide à la détection en radiologie», *Sciences sociales et santé*, vol. 39, no. 2, p. 43-69.
- BEAUBOIS Vincent (2022), *La Zone obscure. Vers une pensée mineure du design*, Les presses du réel.
- BEAUNE Jean-Claude (1998), *Philosophie des milieux techniques*, Champ Vallon.
- BERQUE Augustin (1987), *Écoumène. Introduction à l'étude des milieux humains*, Belin.
- BESCHTA Robert & RIPPLE William (2013), "Are wolves saving Yellowstone's aspen? A landscape-level test of a behaviorally mediated trophic cascade: comment", *Ecology*, vol. 94, no. 6, p. 1420-1425.
- BONTEMS Vincent (2009), "Gilbert Simondon's Genetic "Mecanology" and the understanding of laws of technical evolution", *Techné*, vol. 13, no. 1.
- CANGUILHEM Georges (1967), *La Connaissance de la vie*, Vrin.
- CANGUILHEM Georges (1991), *Le Normal et le pathologique*, PUF.
- DUGGINS David *et al.* (1989), "The Ecology of Extinctions in Kelp Forest Communities", *Conservation Biology*, vol. 3, no. 3, p. 252-264.
- ESTES James *et al.* (1998), "Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems", *Science*, 282, p. 473-476.
- FAIRPHONE (2021), "Fair Materials Sourcing Roadmap 2023" (https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2021/03/Fairphone_Fair-Material-Sourcing-Roadmap.pdf).
- FEBVRE Lucien (1949), *La Terre et l'évolution humaine*, Albin Michel.
- FEUERHAHN Wolf (2017), «Les catégories de l'entendement écologique : milieu, Umwelt, environnement, nature», in G. Blanc, E. Demeleunaere, W. Feuerhahn (dir.), *Humanités environnementales. Enquêtes et contre-enquêtes*, Publications de la Sorbonne, p. 19-42.
- FRIEDMANN Georges (1950), *Où va le travail humain ?*, Gallimard.
- GOODY Jack (1979), *La Raison graphique. La domestication de la pensée sauvage*, Minuit.
- GORDON Aaron (2019), "The Autonomous Vehicle Industry Would Turn Sidewalks Into Cages If It Could", Jalopnik (<https://jalopnik.com/the-autonomous-vehicle-industry-would-turn-sidewalks-in-1836911778>).
- GUIMBAL Jean-Claude (1950), "Combined Turbine and Generator Unit", *US Patent Office*, no. 193851.

- HOBBS Thomas (1921), *Leviathan*, Giard.
- KANT Emmanuel (1987), *Critique de la raison pure*, Flammarion.
- LARRIERU Gaëlle, (2021), «Naître déjà fille ou garçon : Processus d'humanisation et de sexuation du fœtus pendant la grossesse», *Terrains & travaux*, n° 39, p. 241-266.
- LEROI-GOURHAN André (1945), *Milieu et technique*, Albin Michel.
- LEROI-GOURHAN André (1964), *Le Geste et la parole*, t. 1, Albin Michel.
- LESTEL Dominique (2001), *Les Origines animales de la culture*, Flammarion.
- NORTON Peter (2008), *Fighting Traffic: The Dawn of the Motor Age in the American City*, MIT Press.
- NORTON Peter (2019), "The Hidden History of American Anti-Car Protests", *Bloomberg* (<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-08/the-hidden-history-of-american-anti-car-protests>).
- PETIT Victor (2009), *Histoire et philosophie du concept de «Milieu»: individualisation et médiation*, thèse de doctorat, Paris 7.
- PETIT Victor (2015), «L'éco-design : design de l'environnement ou design du milieu?», *Sciences du Design*, vol. 2, no. 2, p. 31-39.
- PICON Antoine (2002), *Les Saint-simoniens. Raison, imaginaire et utopie*, Belin.
- REISEWITZ Shauna *et al.* (2006), "Indirect food web interactions: sea otters and kelp forest fishes in the Aleutian archipelago", *Oecologia*, vol. 146, no. 4, p. 623-631.
- RIPPLE William *et al.* (2014), "Status and Ecological Effects of the World's Largest Carnivores", *Science*, vol. 343, no. 6167.
- ROBINSON Nathan (2021), "Surely We Can Do Better Than Elon Musk", *Current Affairs* (<https://www.currentaffairs.org/2021/04/surely-we-can-do-better-than-elon-musk>).
- SHILL Gregory (2019), "Should Law Subsidize Driving?", *University of Iowa Legal Studies Research Paper*, no. 2019-03.
- STEINBERG Peter *et al.* (1995), "Evolutionary Consequences of Food Chain Length in Kelp Forest Communities", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 92, no. 18, p. 8145-8148.
- TAINÉ Hippolyte (1866), *Histoire de la littérature anglaise*, t. 1, Hachette.
- TSING Anna (2017), *Le Champignon de la fin du monde*, La Découverte.
- VERBEEK Peter-Paul (2008), "Obstetric Ultrasound and the Technological Mediation of Morality: A Postphenomenological Analysis", *Human Studies*, vol. 31, p. 11-26.
- VINSEL Lee (2019), *Moving Violations: Automobile, Experts and Regulations in the United States*, Johns Hopkins University Press.
- VON UEXKÜLL Jakob (2010), *Milieu animal et milieu humain*, Rivages.
- WILMERS Christopher *et al.* (2012), "Do trophic cascades affect the storage and flux of atmospheric carbon? An analysis of sea otters and

kelp forests”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 10, no. 8, p. 409-415.

WOLFE Joanna, LUQUE Javier, BRACKEN-GRISSOM Heather (2021), “How to become a crab: Phenotypic constraints on a recurring body plan”, *BioEssays*, vol. 43, no. 5.

Technologie du milieu *versus* ingénierie de l'environnement

Victor Petit

Après avoir construit dans le chapitre précédent une certaine conception du milieu, ce chapitre approfondit la distinction cruciale entre milieu et environnement. Cette distinction prend une tournure particulièrement nette dès lors qu'on l'aborde du point de vue de l'écologie et de ses paradigmes. Ce chapitre revisite ainsi le clivage historique et culturel, entre une écologie de la nature de tradition anglo-saxonne et une écologie des techniques de tradition continentale (Petit & Guillaume 2018). Dans le premier cas, la question principale relève de la valeur intrinsèque de la nature et conduit à l'éthique environnementale. Dans le second cas, la question principale relève de la démesure technicienne ou de l'*hubris* et conduit à une écologie politique qui place la question de l'autonomie technique en son cœur (ce qu'on pourrait appeler une *technologie politique*). La tradition de l'écologie politique française, qui émerge dans les années 1970, appartient clairement à la seconde. Bernard Stiegler, fondateur du laboratoire Costech (UTC), fut l'héritier de cette écologie du milieu technique (Petit 2021).

Ces deux traditions nous conduisent à distinguer et opposer écologie de l'environnement (ou environnementalisme) et écologie du milieu (ou écologisme). Cette opposition entre environnementalisme et écologisme ne nous est pas propre (Roussopoulos 2017), et renvoie pour ainsi dire aux deux âmes de l'écologie (soutenabilité faible *versus* soutenabilité forte) (Felli 2008). Ce que nous voulons montrer ici est que cette opposition est technologiquement

déterminante et concerne potentiellement tous les concepteurs – ici nommés «technologues». La conception orientée milieux exige de réconcilier les technologues entre eux. Chaque technologue, qu'il soit architecte ou informaticien, est concerné par la crise écologique qui est la nôtre et que la littérature scientifique résume sous le nom d'anthropocène – et qu'on pourrait appeler *technocène*. En ce cas, notre hypothèse est que tous les technologues (et ils sont si divers) vont être confrontés à ceci que *l'ingénierie environnementale ne suffit jamais à faire une technologie du milieu*.

Nous pouvons nous appuyer sur l'exemple de Jean-Marc Jancovici, père du bilan carbone, sans doute l'ingénieur français contemporain le plus célèbre : même pour lui, alors qu'il incarne une tendance plus technocrate que démocrate, aucune ingénierie environnementale (*i. e* aucune optimisation sous contraintes) ne suffit à répondre à la crise écologique. Sinon, il ne s'évertuerait pas à nous parler de sobriété voire de décroissance – à l'instar du GIEC qui, dans son dernier rapport, suggère cette idée que l'efficacité (*efficiency*) technologique ne suffira pas sans une politique de la sobriété (*sufficiency*)¹. Jean-Marc Jancovici ou *The Shift Project* illustrent ainsi les deux polarités entre lesquelles est tiraillée l'ingénierie contemporaine, qui peut hésiter entre la perspective de l'ingénierie environnementale et celle de la technologie des milieux. Or, au regard des enjeux écologiques, il faut lutter sur tous les fronts : celui de la *décarbonation* comme celui de la *territorialisation* des technologies. Si le premier terme fait référence à l'ingénierie environnementale puisqu'il s'appuie essentiellement sur un bilan (focalisé sur le cycle du carbone), le second relève de la conception orientée milieux et s'appuie essentiellement sur un besoin (celui d'un territoire) et sur un désir (de démocratie technique).

[1] «Dans le chapitre 9 du présent rapport, la sobriété se distingue de l'efficacité : la suffisance concerne les actions à long terme menées par des solutions non technologiques, qui consomment moins d'énergie en termes absolus ; l'efficacité, en revanche, concerne les améliorations technologiques marginales continues à court terme. Les politiques de sobriété (*sufficiency policies*) sont un ensemble de mesures et de pratiques quotidiennes qui permettent d'éviter la demande d'énergie, de matériaux, de terres et d'eau tout en assurant le bien-être de tous dans les limites de la planète» (IPCC 2022, p. 101).

Nous procéderons en quatre temps. Un moment introductif reviendra sur la nécessaire réconciliation, que nous appelons de nos vœux, des *technologues* entre eux (architectes, ingénieurs, designers). Un deuxième moment synthétisera l'opposition entre le concept de milieu et celui d'environnement. Un troisième moment, qui constitue le cœur de ce chapitre, précisera l'opposition de l'ingénierie environnementale et de la technologie du milieu à l'aide d'exemples. Un quatrième moment développera cette opposition sur le cas particulier de notre milieu numérique. Nous concluons par une apologie du *milieu-tech*, qui pourrait faire sienne la devise inspirée de Simondon : *apprenons à considérer nos techniques comme nos enfants*.

1] Amis techniciens, devenons technologues

Le techno-solutionnisme environnemental, plus subtil que le *Green Washing*, est la cible de ce chapitre. Toutes les LCA (*Life Cycle Assessment*) ou MFA (*Material Flow Analysis*), aussi indispensables soient-elles pour faire mieux, ne suffiront jamais pour que la technologie retrouve sa pleine extension et avec elle son équilibre et son milieu. Notre propos ici n'est pas seulement de dire que l'innovation environnementale est sujette à controverses (Debref 2018), ni même d'affirmer que l'ACV (Analyse de Cycle de Vie, ou LCA) est une évaluation qui peine non seulement à faire sa mesure mais aussi à dire sa valeur (voir **chapitre 10**), notre propos est de dire qu'aucune évaluation environnementale de l'objet technique ne sera pertinente tant qu'elle sera dissociée de l'évaluation de *notre relation* à nos objets techniques (nos modes de production et de consommation, notre attachement ou détachement, notre fascination, notre mépris ou notre compréhension, notre réappropriation, etc.). Changer de milieu est une exigence bien plus forte que de changer d'environnement. Dans ce dernier cas, il suffit de le modifier, comme une réalité objective externe, tandis que pour changer de milieu, il faut se modifier soi-même et produire de nouvelles normes.

Adopter la perspective des milieux implique donc que la technologie retrouve ses deux jambes : non seulement les sciences de la nature, mais aussi les sciences humaines, puisque le milieu n'existe pas indépendamment des relations constitutives que nous entretenons avec lui. Or, cette acceptation complète de la technologie

comme science des techniques s'est aujourd'hui largement perdue. Il convient de la réhabiliter. Lorsque ces deux jambes s'écartent, le corps social se fend. Ce qui est condamné sous le nom de technosolutionnisme (voir **chapitre 12**), c'est précisément une technologie amputée de la société qui lui donne sens. À l'inverse, dans la tradition française, le «milieu technique» est indissociable de la prise en compte de la *technologie* (et de son enseignement) par les sciences humaines. Historiquement, le «milieu technique» fut ainsi couplé au concept de «culture technique» (Beaubois & Petit 2018). Les héritiers de Georges Friedmann, qui a œuvré pour proposer une conception non étroitement technicienne de la technologie, pourraient dire : *Amis techniciens, devenons technologues*. Ce que nous désignons dans ce chapitre sous le nom d'ingénierie environnementale succombe à l'approche techniciste de la conception, tandis que la conception orientée milieux suppose une approche technologique qui ne néglige aucune des deux jambes de la technologie (**encadré 1**).

Encadré 1. Technique et technologie (et/ou design)

Confondre la technologie avec la technique, c'est un peu comme confondre la biologie avec la vie. Historiquement, le mot de «technologie», et celui plus récent de «design», se sont définis comme «troisième voie» ou comme «troisième culture», à côté de la science et des arts (Petit 2023). Dans la langue française, le terme de «technologie» a ceci de commun avec celui de «design» qu'il ne nomme pas tant une discipline spécifique, définie par son objet délimité, que l'indétermination disciplinaire qui ne cesse d'osciller, entre les sciences et les humanités.

C'est bien le design qui a facilité l'introduction des humanités en technologie (Petit 2017, Petit & Deldicque 2017). Danièle Quarante, qui a accompagné la naissance institutionnelle du design à l'Université de technologie de Compiègne (UTC) au début des années 1970, a pu dire que «le design industriel ne peut jamais s'enseigner comme un système ou un ensemble de recettes» (Quarante 1987, p. 94). Ceci fait écho à la définition même de la «technologie» par le fondateur de l'UTC, Guy Denielou, qui n'était pas tant «cette logie particulière qui est l'étude de la tekhnè» que «cette approche à la fois théorique et pratique [...] sur un mode à la fois interdisciplinaire et interprofessionnel» (Denielou 1981). Il en est de la technologie (ce couplage entre logos et génie) comme du design : ces savoirs

ne rentrent pas dans les cases des disciplines instituées. Ainsi, la conception orientée milieu doit penser la technologie par le mi-lieu, ce tiers terme qui n'est ni logos ni techne mais les deux à la fois.

Application/implication. Toute vision de la technique qui réduit celle-ci à un moyen, qui serait comme tel séparable des fins non techniques, sera dite instrumentale. Cette vision est critiquable et largement critiquée, car chacun sait que la technique n'est pas seulement un *moyen* mais un *milieu*, ou autrement dit, elle n'est pas seulement un *intermédiaire* constitué mais une *médiation* constituante. Cette vision instrumentale de la technique s'accompagne d'une vision applicative de la technologie : la technologie serait de la science appliquée. Ces deux visions, condamnables, sont liées, puisque la conception de la technologie comme science « appliquée » suppose souvent de réduire les techniques à de simples instruments en vue de fins qui leur sont extérieures, elle suppose de les considérer comme neutres axiologiquement (neutres en valeurs) et de souscrire à un certain déterminisme (selon lequel le développement technique répondrait à une logique autonome).

Comprendre l'*implication* cosmologique (ou mésologique) de la technologie est un bon moyen de briser la fausse conception de la technologie comme « science appliquée ». La technologie n'est pas une science appliquée mais une science impliquée (pas plus que le design n'est de l'art appliqué mais de l'art impliqué²). La technologie suppose une implication (de l'« homme total », dirait Marcel Mauss) qui refuse la séparation de la Science et la Morale, des STI et des SHS, des techniques et de la cosmologie. Refuser cette séparation c'est aussi bien admettre que toute technologie est porteuse de valeurs, qu'elle est donc normative.

C'est d'ailleurs ce qu'exprime le terme « technologie » en lui-même : la *technè* (technique) est toujours en prise avec un *logos* (discours, étude) et tout *logos* des techniques est toujours techniquement constitué (Loeve & Deldicque 2018). Décrire la technologie comme *logos impliqué* nous invite alors, à la suite de Sacha Loeve et Timothée Deldicque (2018), à pluraliser le terme : à reconnaître la pluralité de techno-logies qui ont coexisté dans l'histoire et de nos jours. Ceci nous conduit au terme de « technodiversité » (voir chapitre 12) qui reconnaît ce caractère normatif et pluriel des technologies.

[2] L'expression d'« art impliqué » se trouve déjà dans Huisman & Patrix (1965). Sur ce courant, cf. Beaubois & Petit (2018).

Nous nous adressons à tous les *concepteurs*, ceux qu'on spécifie en France sous le nom de «*designers*» mais aussi ceux qu'on nomme plus communément les «ingénieurs». La conception orientée milieux, parce qu'elle s'adresse à tous les technologues, suppose de retrouver la pluralité de la technologie elle-même. Le mot de «technologie» permet ainsi d'appréhender la technique (sa matière, son code, sa culture) en deçà de la distinction (d'abord scolaire) des ingénieurs et des designers.

L'anthropologue Tim Ingold s'oppose justement à la séparation de la conception intellectuelle et de l'exécution technique³. Cette séparation est malheureuse, à l'échelle de l'individu comme à celle de la société, et contredit l'idée même de techno-logie⁴. La conception orientée milieux peut être dite technologique, et non technicienne ou techniciste, en ce sens qu'elle vise précisément à réconcilier le connaître et le faire, aussi bien que la conception (*poïesis*) et la pratique (*praxis*).

2] Les deux écologies

L'approche orientée milieux n'est pas une approche environnementale et pourtant elle est écologique. Pour comprendre une telle assertion, il est important de comprendre ce qui distingue l'environnement d'une part et le milieu d'autre part. Synthétisons ce qui les oppose.

1. **L'environnement**, comme son nom l'indique, environne, il est donc extérieur. Le **milieu**, comme son nom l'indique éga-

[3] Comme le note Xavier Guchet : « En résumé, Ingold est allé très loin dans le nouage de ces deux tâches connexes : d'une part, réévaluer le discours anthropologique définissant l'humain comme composé de deux strates prédéfinies, le biologique et le personnel, et, d'autre part, réévaluer la conception de la technique comme opération d'une intelligence extérieure à la nature. Ingold associe au demeurant cette double réévaluation quant à l'humain et quant à la technique, à la possibilité de rapporter celle-ci à la prudence et au soin [*care, judgement and dexterity*] » (Guchet 2021, p. 102).

[4] Cette séparation fut à la base du nouveau modèle d'*industrie sans usines* dont Apple est emblématique : *Designed in California, Assembled in China*. Ceci semble contredire le but premier de toute technologie (et/ou de tout design) qui est au contraire de réconcilier la main (*Assembled*) et le cerveau (*Designed*).

lement, se situe au mi-lieu, il est donc à la fois intérieur et extérieur. Ainsi, par exemple, une *termitière* n'est pas, à proprement parler, l'environnement des termites, elle n'est pas non plus leur milieu extérieur, car elle signifie tout aussi bien leur *milieu intérieur*.

2. **L'environnement** est absolu, le **milieu** est relatif (à l'être vivant dont il est le complémentaire). Autrement dit, tandis que pour changer d'environnement, il suffit de le modifier, pour changer de milieu, il faut également se modifier soi-même ou changer ses normes aurait dit Georges Canguilhem.
3. **L'environnement** réfère d'abord implicitement à la nature ou du moins aux «sciences de la nature», tandis que le **milieu**, du fait de son histoire, est indissolublement *physico-bio-socio-géo-technique* et il évite ainsi le dualisme de la nature et de la culture (encadré 2).

Encadré 2. Environnement/milieu, *Umgebung/Umwelt*

Cette distinction, notamment inspirée par l'éthologue germanique Jakob von Uexkül qui distinguait le milieu propre de l'animal (*Umwelt*) de l'environnement, en tant que donnée objective non relative à un vivant (*Umgebung*), fut assez féconde en philosophie de langue française (de Georges Canguilhem hier à Augustin Berque aujourd'hui).

Cette distinction se retrouve différemment formulée, dans d'autres langues qui ne possèdent pas le concept de «mi-lieu». Ainsi, l'anthropologue britannique Tim Ingold a distingué une approche environnementale (où l'environnement est compris comme *réalité de* et qui s'accompagne d'une perspective constructiviste où le bâtir laisse place à l'habiter) d'une approche par le milieu (où l'environnement est compris comme *réalité pour* et où bâtir et habiter ne sont pas séparés, puisqu'il s'agit de bâtir en habitant). Dans le cadre de l'anthropologie écologique qu'il développe, il critique l'échelle trop large de cet «environnement» perçu comme une entité indépendante de l'expérience, et fonde l'intention et l'action humaines dans le contexte d'un engagement continu et mutuel entre les hommes et ce qui les entoure, ce qu'il conviendrait précisément d'appeler un milieu. Comme Ingold le remarquait en 1993, la différence du local (et ses sphères) et du global (et son globe) n'est pas une différence de degré hiérarchique ou d'échelle, mais une différence de type ou

de mode, qu'on peut résumer par l'opposition entre *connaître un environnement* et *habiter un milieu* (Ingold, 1993, 2000).

Ces deux concepts étant opposés, les deux écologies qui en découlent le sont tout autant :

1. **L'écologie de l'environnement** s'occupe de quantifier l'impact sur l'environnement et tente de modifier nos techniques pour les rendre plus éco-compatibles. **L'écologie du milieu** s'occupe d'améliorer la *qualité* du milieu de vie et tente de modifier non pas tant nos techniques que notre *relation* aux techniques, autrement dit notre mode de consommation et de production.
2. **L'écologie de l'environnement** est la même partout, elle est par définition reproductible car l'environnement comme la *Green Tech* n'a pas de lieu. **L'écologie du milieu** est propre à chaque territoire, elle est relative aux acteurs, aux *commoners*.
3. **L'écologie de l'environnement** modélise flux et stock dans le but d'une optimisation technique et semble progresser vers une automatisation généralisée – qu'elle nomme bêtement technologies « intelligentes » et « autonomes ». **L'écologie du milieu** travaille à l'*autonomie* du sujet plutôt qu'à l'*automatisme* des objets, et convoque ainsi la *capabilité* des acteurs (encadré 3).

Encadré 3. Environnementalisme/écologisme

Il est important de ne pas confondre l'environnementalisme avec l'écologisme. Ivan Illich ou André Gorz par exemple, qui ont façonné l'écologie politique, n'ont besoin ni du concept de nature ni du concept d'environnement pour élaborer leur pensée techno-critique. Qu'on définisse l'environnementalisme comme la prise de conscience que le climat global est bouleversé par les activités humaines, ou comme la nécessité de mieux connaître l'environnement dans sa globalité pour mieux le gérer, dans tous les cas, son origine est loin d'être claire. D'une certaine manière, on pourrait aller rechercher les origines de l'environnementalisme du côté des saint-simoniens qui œuvraient à unifier la planète. L'environnementalisme prend souvent des allures autoritaires, car son but n'est autre que de maîtriser l'environnement. Pour nous en tenir aux États-Unis, les sciences de l'environnement n'y sont pas, comme on le croit, issues

du mariage de l'écologie scientifique et du militantisme écologique (Rachel Carson en tête), elles sont nées après-guerre au Pentagone dans la tête de stratèges militaires, et elles sont à comprendre comme la conséquence des technologies de la guerre froide (la bombe atomique, la conquête spatiale, l'ordinateur). L'environnement est un concept global en cela précisément qu'il suppose une Terre vue d'en haut et un monde clos. Celle où celui qui vit dans cette Terre vue d'en haut est ce que les écolos qualifient de «hors-sol». Bruno Latour oppose ainsi «les terrestres» aux «modernes» pour dire à peu près la même chose : les premiers sont écologistes, les seconds demeurent environnementalistes.

3] Ingénierie environnementale *versus* technologie écologique

Cette distinction entre écologie de l'environnement et écologie du milieu est certes abstraite, mais elle entraîne des effets bien concrets qui traversent l'ensemble des champs de la technologie (design, architecture, ingénierie). Commençons par faire jouer cette opposition sur quelques exemples technologiques simples.

3.1] Exemples technologiques

3.1.1] Cheminée ou thermostat ?⁵

Pour un même besoin (se chauffer par exemple), il existe des modes de satisfaction différents. Ces modes de satisfaction ne sont jamais neutres, et ils modifient la nature même du besoin. Par exemple, le chauffage central, s'il s'adresse au même besoin que la cheminée, modifie la nature de celui-ci en permettant à chacun de s'isoler dans sa chambre et de ne plus se soucier de la manière dont il se chauffe.

La distinction entre le sens du mot cheminée et le sens actuel du mot chauffage est développée par le philosophe des techniques Albert Borgmann, qui l'analyse dans le prolongement de sa distinction entre les objets et les pratiques usuelles d'un côté et les «appareils technologiques» de l'autre. Ce qu'il appelle le «*device paradigm*» est cette tendance des appareils ou des dispositifs technologiques à effacer les moyens techniques derrière les fins

[5] Cette lecture nous a été inspirée par Gauthier Roussilhe (2020).

consommées⁶. Le meilleur moyen de ne pas voir les impacts environnementaux destructeurs ou les impacts sociaux ravageurs d'une technologie est encore de les invisibiliser. À l'inverse, le but de la technologie orientée milieux n'est pas de s'effacer derrière les *commodities* qu'elle nous offre. Au contraire, un des indicateurs les plus surs de ce que nous nommons, plus bas, la voie *milieu-tech* est de fournir la technique en même temps que son dispositif de lisibilité.

Pour faire comprendre la différence entre l'ingénierie environnementale et la technologie du milieu, on peut prolonger cette distinction entre un radiateur électrique muni d'un thermostat et une cheminée. À s'en tenir à la phase de l'usage, il serait tout à fait possible de dire que le bilan carbone (et donc l'impact environnemental) du thermostat est bien meilleur que celui de la cheminée. Et pourtant, la cheminée, parce qu'elle suppose un rapport au milieu extérieur et une contribution active et collective des sujets, parce qu'elle donne à sentir la vie des éléments et qu'elle engage une convivialité ancestrale, pourrait être préférée du point de vue de l'écologie des milieux.

En effet, la technique nommée *cheminée* suppose 1) un engagement du ou des sujets (concepteur et/ou usager), 2) un entretien et une attention, 3) un rapport à la ressource qui demande de se questionner sur les milieux de cette ressource. Ainsi, la finalité (production de chaleur) n'est pas dissociable de pratiques sociales. Symétriquement, la technique nommée *thermostat* ne suppose *pas* : 1) un engagement de l'opérateur (si ce n'est un réglage ponctuel), 2) un entretien ou une attention, le dispositif étant pour l'essentiel caché et sa connaissance laissée à quelques experts (en charge de le réparer), 3) une connaissance du milieu extérieur, puisque le but du thermostat est de fonctionner uniformément quelque que soit le contexte. Ainsi, aucune pratique sociale (autre que l'achat d'un bien

[6] Nous ne reproduisons pas ici le vocabulaire d'Albert Borgman (2009) qui distingue la *commodities* (un hamburger qu'on achète dans un fast-food) de la *thing* (ce même hamburger qu'on cuisine à la maison, en préparant un dîner). Il distingue le dispositif, qui est un moyen (machine) en vue d'une fin (marchandise), de la chose technique, ou ce qui nous importe dans la pratique et dans nos affaires quotidiennes. Le propre des dispositifs actuels est qu'ils sont d'autant plus faciles d'accès qu'ils sont difficiles à connaître et à comprendre.

ou d'un service) n'est associée au thermostat. Pour le dire simplement, il ne viendrait à l'idée de personne de fêter Noël autour d'un bon thermostat, quand bien même serait-il classé A!

3.1.2] Voiture propre ou économie de la fonctionnalité⁷ ?

Pour prendre un autre exemple, il y a deux manières de comprendre l'innovation que fut Autolib, le service public d'autopartage de voitures électriques de l'agglomération parisienne entre 2011 et 2018. La première se focalise sur l'innovation du produit, et tente de nous faire croire qu'une voiture électrique est propre sous prétexte qu'elle ne produit pas de CO₂ à l'usage (à la manière de Tesla qui tente de faire croire aux crédules qu'une SUV dont la batterie pèse 500 kg est verte). La seconde se focalise sur la nouvelle relation (non-propriétaire) à la voiture permise par ce nouveau modèle d'économie de la fonctionnalité. Et sans être très bon en calcul, si vous êtes dix à partager la même voiture, alors vous divisez par dix le bilan carbone de cette fonction, ce qui est autrement plus efficace que de substituer une voiture à une autre.

3.1.3] Éco-conception de la *fast fashion* ou éco-renoncement à celle-ci ?

Pour prendre un autre exemple très simple, il va de soi que face à l'industrie, en tout point toxique, de la *fast fashion*, l'éco-conception des vêtements n'est pas la solution, car l'industrie textile ne pourra être dite durable qu'à la condition de se défaire de son modèle hyper-consumériste (Coscieme *et al.* 2022). L'essentiel se joue alors du côté du recyclage et du réemploi, et plus encore du côté de la consommation responsable⁸.

[7] L'économie de fonctionnalité est «l'offre ou la vente (à des entreprises, individus ou territoires), de l'usage d'un bien ou d'un service... et non du bien lui-même. Le fabricant a donc tout intérêt à faire durer le produit, ce qui devrait favoriser un moindre gaspillage des ressources naturelles, dans une perspective d'économie circulaire» (Wikipedia).

[8] Cette consommation responsable suppose évidemment une production responsable. On pourrait citer le collectif « En mode climat » (<https://www.enmodeclimat.fr/>), fondé par Julia Faure, cofondatrice de la marque *Loom*. Ce collectif ne se contente pas de donner une version négative de la sobriété (Réduire), mais donne une version positive qui met en avant un critère de «durabilité émotionnelle». Pour réduire le devenir déchet de nos marchandises, il est en effet crucial d'apprendre à aimer durablement

3.1.4] Réseau électrique basé sur des énergies renouvelables ou transformation de celui-ci ?

Pour prendre un dernier exemple d'envergure, on pourrait nommer ingénierie environnementale toute scénarisation de la transition énergétique réduite à des choix techniques ou à des indicateurs économiques, et qui se contente de questionner les sources d'approvisionnement énergétique. Il s'agit des scénarios privilégiés par les ingénieurs, (Debizet & Labranche 2019). Symétriquement, on pourrait nommer technologie du milieu toute scénarisation qui tente de mettre en œuvre une nouvelle relation au réseau énergétique, soit par exemple en repensant les communautés d'acteurs (à la fois producteur et consommateur), soit en décentralisant le réseau énergétique, en le territorialisant (Lopez 2022). L'ingénierie environnementale se contente de questionner les sources énergétiques et leur bilan carbone, tandis que la technologie du milieu vise à repenser la nature du réseau lui-même et notre relation à lui.

3.2] Architecture & urbanisme

Après ces quatre exemples, développons cette opposition dans différentes cultures technologiques.

Commençons par l'architecture, où cette division entre environnement et milieu oppose une architecture savante, qui a pu se confondre avec l'ingénierie environnementale et la climatisation (si bien analysée par Reyner Banham 2011 [1964]) à une architecture vernaculaire (celle que le théoricien autrichien Bernard Rudofsky [1964] a appelée *l'architecture sans architectes*). L'architecture vernaculaire est une architecture *indigène*, au sens où elle est née (-*gène*) au-dedans (*endo-*) du milieu. Mais cette opposition entre architecture savante et architecture amateur doit être dépassée. L'architecte Wang Zhu (*Amateur Architecture Studio*), est typiquement ce technologue qui hybride les deux cultures et assure le double objectif de l'architecture : «la nécessité de se conformer aux contraintes des milieux, tout en faisant milieu en tant que demeure des humains» (Picon 2022, p. 114).

nos objets, à commencer par ceux que l'on porte. Ce collectif comprend toute une diversité d'entrepreneurs qui mettent en avant la sobriété écologique, dont Hubert Motte, ancien ingénieur de Décathlon et fondateur de *La vie est Belt*, qui a su refuser les offres des investisseurs pour pouvoir conserver sa sobriété joyeuse.

L'esprit du modernisme technologique pourrait être résumé par le slogan «*Dal cucchiaio alla città*» («De la cuillère à la ville») créé par l'architecte milanais Ernesto Rogers en 1952, caractérisant par-là l'esprit de la Charte d'Athènes⁹. Cette formule dit le rêve de l'*hubris technologique* : abolir les échelles dans la correspondance parfaite entre l'intérieur et l'extérieur, la cuillère et la ville, l'objet et le plan. Ce slogan ne dit pas seulement le changement d'échelle ou le passage à l'échelle, il dit surtout l'abolition même des échelles – ce qui est la véritable définition de la *Bigness* selon Rem Koolhaas (Koolhaas & Mau 1995¹⁰). Cette abolition des échelles, cette idée d'un design qui serait identique de la partie au tout, est une autre manière de dire, avec Rem Koolhaas, «*Fuck context*». Entre la formule de Rogers et celle de Koolhaas, il y a une continuité certaine à laquelle s'oppose la conception orientée milieux.

L'anthropologue James Scott prend la figure de l'architecte Le Corbusier pour montrer en quel sens le modernisme poussé à l'extrême est systématiquement destructeur de diversité (Scott 2021 [1998]). Il est aisé, en effet, de faire de Le Corbusier le chantre de «l'espace universel» et de la «machine à habiter»¹¹. Son architecture a pour but de s'offrir «naturellement à la standardisation, à l'industrialisation, à la taylorisation» (Le Corbusier 1964, p. 29). Un certain aspect de Le Corbusier incarne parfaitement la mauvaise image de la technocratie, soit la croyance que la planification urbaine a une solution unique, car scientifique. Le plan est pour Corbusier un despote salvateur qui libère les hommes de leurs errances¹². Son

[9] La charte d'Athènes a constitué l'aboutissement du IV^e Congrès international d'architecture moderne (CIAM), tenu lors d'un voyage maritime entre Marseille et Athènes en 1933 sous l'égide de Le Corbusier. Le thème en était «la ville fonctionnelle» Le Plan Voisin de Paris ou la ville de Brasilia peut être considérée comme une incarnation des principes de la charte.

[10] On consultera notamment le chapitre “Bigness or the problem of Large”.

[11] La «machine habitable» de Le Corbusier, comme celle de Buckminster Fuller, se conjugue à toutes les échelles, et il aurait pu dire avec lui : “*We will be in a 'one town world' in a realistic way*” (cf. Petit & Guillaume 2018).

[12] «Le despote n'est pas un homme. Le despote, c'est le Plan. Le plan juste, vrai, exact, qui apporte la solution, le problème ayant été posé, posé dans

Plan Voisin du centre de Paris, ne fait aucun compromis avec la ville préexistante, aucune référence à l'histoire et au milieu parisien (figure 1). Brasília est probablement ce qui se rapproche le plus d'une ville planifiée selon les directives de Le Corbusier et de la Charte d'Athènes. Mais entre la ville planifiée et la ville réelle, le gouffre est immense (Holston 1989).

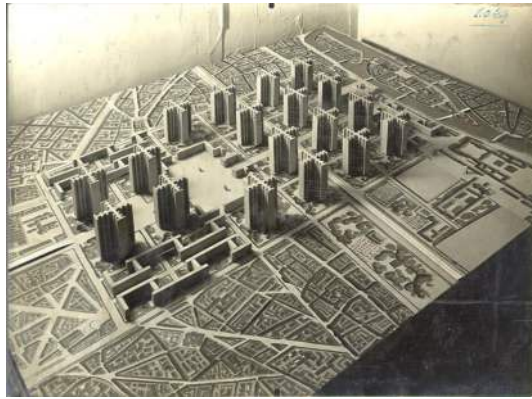


FIGURE 1. Maquette du Plan Voisin pour Paris par Le Corbusier exposée au Pavillon de l'Esprit Nouveau (1925) CC BY-SA 4.0.

Aujourd'hui, l'architecture environnementale et l'architecture écologique semblent assumer leurs désaccords. L'architecture environnementale est celle des normes, celle de la certification « Haute Qualité Environnementale », dont l'architecte Rudy Ricciotti, dans les années 2000, a bien montré l'aberration (Ricciotti 2013). Le propre de l'architecture environnementale est qu'elle produit des quartiers normés reproductibles à l'identique, si bien que les éco-quartiers HQE se ressemblent d'une ville à l'autre (tout comme les *smart cities*, qui ne jurent que par le couplage de l'IA et de l'environnement, sont destinées à s'uniformiser). Symétriquement, le propre de l'architecture écologique est qu'elle est ouverte sur son milieu. L'architecture écologique est non seulement une architecture qui limite les intrants énergétiques (notamment pour la « climatisation ») et qui contrôle la maintenance, c'est aussi une architecture

son ensemble, dans son harmonie impensable. Le Plan a été établi en dehors des fièvres de la mairie ou de la préfecture, des cris des électeurs ou des cris des victimes. Il a été établi sereinement, lucidement. Il n'a tenu compte que des vérités humaines. Il a fait fi des réglementations en cours, des usages, des moyens existants. Il ne s'est pas occupé de s'il pouvait être exécuté suivant la constitution en vigueur. Œuvre biologique destinée aux humains et réalisable par les techniques modernes » (Le Corbusier 1964, p. 154).

qui intègre la fin de vie, car le durable ne signifie pas nécessairement le pérenne, mais c'est surtout une architecture qui, à la différence des normes environnementales, est relative à son milieu, bio-géographique mais aussi social et technique. Aujourd'hui, la conception orientée milieux semble enfin au goût du jour en architecture. Outre des architectes bien connus comme Philippe Madec (2021, 2022), on pourrait mentionner l'architecte Simon Teyssou (*Atelier du Rouget Simon Teyssou et associés*), qui prône une grande attention aux singularités des milieux (ressources, économie et climat, topographie, spécificités historiques et culturelles) dans son processus de construction, ou l'architecte Boris Bouchet qui défend, quant à lui, une «architecture des milieux» qui ne sépare pas les différentes phases du cycle de vie de l'architecture ce qui le conduit nécessairement à penser son ancrage territorial¹³.

Depuis ses origines, la «ville verte» est sujette à tensions. Il y a au moins deux visions de la durabilité urbaine, l'une techniciste, l'autre intégrée (Salomon-Cavin & Bourg 2010). La perspective de l'ingénierie environnementale pourrait être représentée par l'engouement actuel pour les *smart cities*, telles Songdo International Business District en Corée ou Masdar City à Abu Dhabi (sans parler ici du projet Neom, qui suffirait à lui seul à invalider l'ingénierie hors-sol¹⁴). Ici la dimension environnementale se résume à des technologies dites vertes couplées à un réseau dit intelligent, tout cela conçu de manière *top-down* et *ex nihilo*.

La perspective de la technologie du milieu pourrait être représentée par le kit *Smart Citizen* par exemple, qui n'est pas moins *high-tech* mais qui ne fonctionne qu'avec la contribution de ses habitants qui adaptent l'outil à leurs usages¹⁵. Ce kit, qui fait écho en

[13] <http://borisbouchet.com/?textes=pour-une-architecture-des-milieux>

[14] Neom est un projet de ville nouvelle futuriste dans le Nord-Ouest de l'Arabie Saoudite s'étendant sur 170 km <https://www.neom.com/fr-fr/regions/theline>

[15] Smart Citizen est une plateforme, fondée par Tomas Diez - IAAC | Fab Lab Barcelona - et Alex Posada - MID, Hangar - pour la génération de processus sociaux participatifs dans les zones urbaines. En connectant les données, les personnes et les connaissances, l'objectif de la plateforme est de servir de nœud pour la construction d'indicateurs productifs et ouverts, et d'outils distribués, apportant par la suite la construction collective

France au réseau TiLiOS (Tiers Lieux Libres et Open Source)¹⁶, ne dessine pas tant une écologie de l'environnement (*smart city*) qu'une écologie du milieu (*open source city*)¹⁷.

L'opposition entre une écologie de l'environnement attentive aux *smart cities* et une écologie du milieu attentive aux *smart citizen* pourrait sembler caricaturale, et pourtant cette opposition est essentielle pour comprendre la distinction entre ingénierie environnementale et technologie écologique. Le projet Smartseille est un projet Haute Qualité de Vie qui avait tout pour plaire sur le papier¹⁸, mais là encore les habitants ayant été exclus de la conception (au profit d'une vision naïve des e-services), il semblerait qu'il s'agisse là encore d'*aménagement* environnemental et non de *ménagement* écologique (Sezerat 2021). Nous pourrions ainsi proposer la maxime suivante : *là où sévissait l'aménagement de l'environnement, doit advenir le ménagement du milieu.*

3.3] Design

Le champ de l'éco-design n'est pas réductible à ce qu'on nomme en France l'éco-conception qui n'est elle-même pas réductible à l'échelle du produit¹⁹. L'opposition entre environnement et milieu permet de comprendre la différence entre le *Design for Environment* (DfE) qui se contente de modifier l'impact environnemental de nos techniques et le *Design for Sustainability* (DfS) qui tente de modifier

de la ville pour et par ses propres habitants. Le projet est en constante expansion avec plus de 1000 kits dans le monde. Consultez le projet sur : <https://smartcitizen.me/>

[16] https://movilab.org/wiki/Tiers_Lieux_Libres_et_Open_Source

[17] <http://responsivecities.iaac.net/>

[18] <http://www.smartseille.fr/>. Le principe HQVie[®] consiste à concevoir un projet selon 5 principes : a) Respect du génie du territoire ; b) Gestion raisonnée des flux et des mobilités ; c) Intensification et évolutivité des usages ; d) Cohésion, santé et bien-être ; e) Prévention des risques et résiliences.

[19] Il y a de l'éco-conception à toutes les échelles. Par exemple, l'éco-conception d'un datacenter relève d'un indicateur d'efficacité énergétique, le Power Usage Effectiveness (PUE) créé en 2007 par *The Green Grid*. Mais cet indicateur est inefficace tant qu'on ne questionne pas le «hiatus réel entre nos appareils dotés d'applications conviviales et ces lieux fermés qui rendent possible leur exécution» (Carnino & Marquet 2018, p. 62).

notre relation aux techniques (Petit 2015). Le DfE se concentre sur les méthodes d'analyse de cycle de vie de l'objet, tandis que le DfS questionne l'écosystème social de l'objet, son usage et ses pratiques.

Un rapide survol de l'histoire de l'éco-design nous autorise à dire que nous sommes passés d'une approche orientée objet (DfE) à une approche orientée milieux qui prend acte des insuffisances de la première (DfS)²⁰. Autrement dit, nous sommes passés d'une concep-

[20] Fabrizio Ceschin et Idil Gaziulusoy ont récemment proposé une nouvelle histoire du *DfS* en montrant son passage d'une conception centrée produit à une conception centrée sur une échelle plus large qu'ils nomment «système socio-technique». Pour ce faire, ils différencient quatre niveaux du DfS: 1) L'innovation produit améliore des produits existants ou développe de nouveaux produits. C'est là la définition de l'éco-conception dont le but est de réduire les impacts environnementaux d'un produit en prenant en compte l'ensemble de son cycle de vie. 2) L'innovation système produit-service combine et intègre des produits et des services, et développe par exemple de nouveaux modèles commerciaux comme la location de voiture au lieu de l'achat. 3) L'innovation spatio-sociale concerne les établissements humains; elle se situe à l'échelle des infrastructures et questionne les conditions de la communauté. 4) L'innovation socio-technique se concentre sur la promotion de changements radicaux dans la manière dont les besoins sociaux fondamentaux, tels que la nutrition et le transport/la mobilité, sont satisfaits.

Les niveaux 1 et 2, pris individuellement, peuvent être contreproductifs et peuvent entraîner des effets rebonds s'ils ne sont pas positionnés dans une stratégie globale de transition soutenable. C'est la raison pour laquelle ils doivent être couplés à d'autres outils comme l'économie circulaire. Le niveau 3 dit spatio-social comprend deux approches: le design pour l'innovation sociale et le design systémique qui s'apparente à l'écologie industrielle et territoriale. Pour illustrer ce design dit systémique, l'article prend l'exemple de l'école polytechnique de Turin qui, en collaboration avec Lavazza, a mis en place une solution pour réutiliser les déchets de café comme intrant pour la production agricole. Le niveau 4 ou niveau d'innovation des systèmes socio-techniques englobe les niveaux précédents, ceux de la conception de systèmes de produits-services, qui vise à transformer les systèmes de production-consommation par l'innovation des modèles d'entreprise (niveau 2), et la conception d'innovations sociales, qui vise à contribuer au changement social sans considérer le changement technologique comme un facteur prédominant (niveau 3), mais il est plus large, puisqu'il englobe tous ceux qui réfléchissent aux villes en tant que systèmes adaptatifs complexes exigeant de prendre

tion centrée produit à une conception centrée sur l'utilisateur, ou mieux encore une co-conception de la *communauté* des usages (Ceschin & Gaziulusoy 2016) (figure 2). On ne parle plus de *sustainable design* mais de *sustainable interaction design* (Hazas & Nathan 2018). Bref, nous sommes passés d'un *design pour l'environnement* (*Design for Environment*) à un *design pour le milieu* ou design pour le milieu technique *commun* (*Design for Transition*) autrement plus complexe (Petit 2016). Car le premier est reproductible tandis que le second ne l'est pas, en ce sens précisément qu'il est *relatif* à son milieu (naturel et culturel).

Le design pour le milieu, qui est un design proprement écologique, ne néglige pas l'impact environnemental, mais sa méthodologie lui interdit de le séparer de l'impact social, et cela car il ne dissocie pas la production (*poïesis*) de la pratique (*praxis*)²¹. Ainsi, le domaine de la conception pour la soutenabilité (*Design for Sustainability* ou *DfS*) a évolué d'une perception dite statique à une vision plus dynamique sensible aux interdépendances entre système technique, système social et système écologique. L'enjeu de la transition soutenable est désormais de passer d'innovations produits (l'éco-conception d'une *box* par exemple) à des innovations transformant les contextes sociotechniques (repenser le rôle d'un fournisseur d'accès internet par exemple).

en compte les interrelations entre les technologies, les écosystèmes, les pratiques sociales et culturelles et la gouvernance des villes dans les décisions de conception. L'exemple de conception pour les innovations et les transitions de systèmes qui est donné est celui du projet *Visions and Pathways 2040* du *Victorian Eco-innovation Lab* en Australie, qui ont développé de manière participative des scénarios pour des villes futures à faibles émissions de carbone et résilientes. Pourtant, les niveaux 3 et 4 se distinguent difficilement, car l'approche socio-technique se caractérise par sa dimension territoriale et participative (Ceschin & Gaziulusoy 2016). L'analyse ici donnée du DfS dit converger avec la tendance que connaît l'innovation environnementale ou soutenable, à la fois plus sociale (moins exclusivement technicienne) et plus systémique (moins insulaire, ou considérant des systèmes sociotechniques plus larges que les limites de l'entreprise) (Adams *et al.* 2016).

[21] Autrement dit, il s'agit d'un *design éco-social* (Duhem & Rabin 2018) qui se conjugue comme *design territorial* (cf. Duhem & Pereira de Moura 2020).

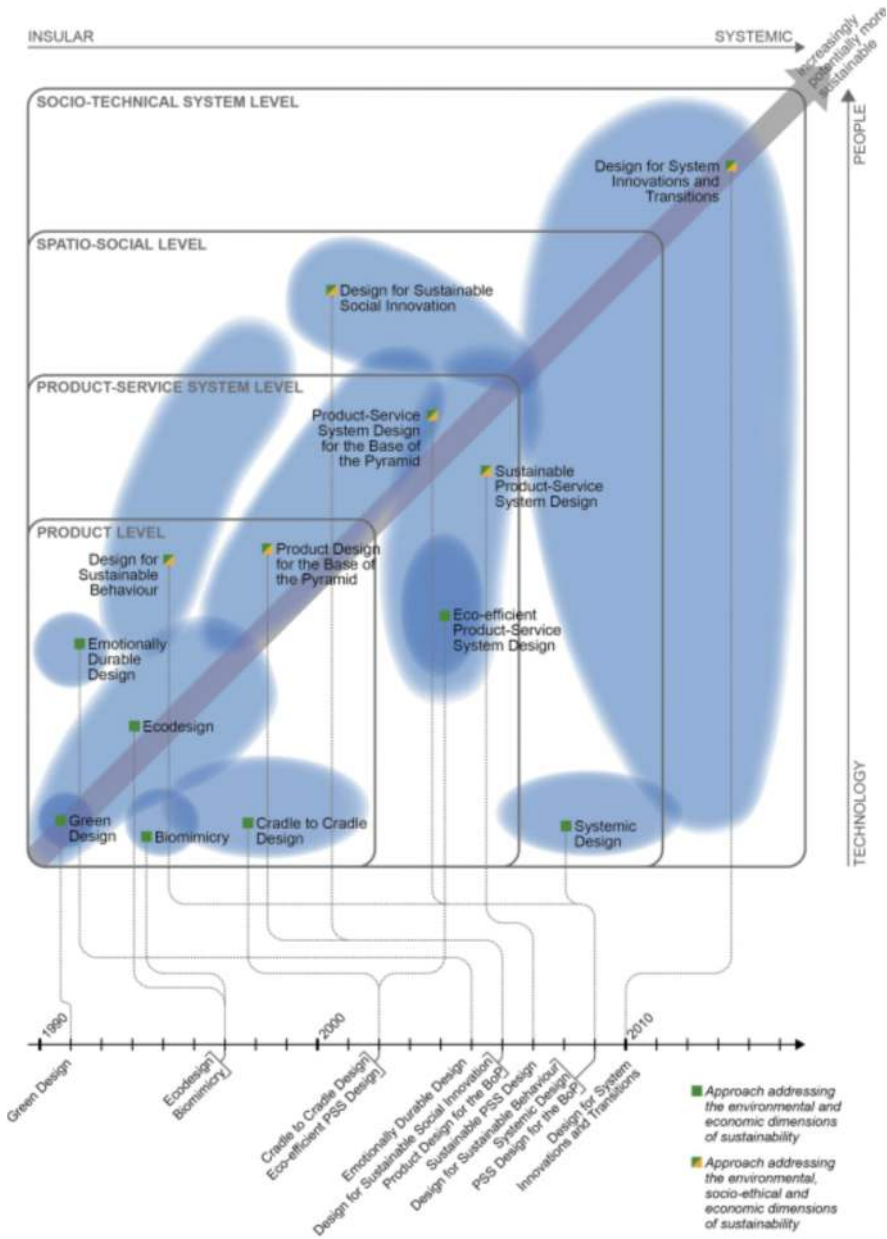


FIGURE 2. Le cadre évolutif du *Design for Sustainability* (DfS) avec les approches existantes. La chronologie indique l'année de la première publication clé de chaque approche du DfS. Crédits : Ceschin & Gaziulusoy (2016).

3.4] Écologie industrielle

L'opposition entre écologie de l'environnement et écologie du milieu est également heuristique dans le champ de l'écologie industrielle, cette discipline apparue dans les années 1970 (Frosch & Gallopoulos 1989, Erkman 1998, Allenby 1999, Ayres & Ayres 2002) et que l'on nomme aujourd'hui économie circulaire. Un certain courant de l'écologie industrielle, portée notamment par Brad Allenby et présupposant que la Terre est un produit du design humain et que l'écologie industrielle est apolitique, prolonge le technocratisme de Fuller. Richard Buckminster Fuller (1895-1983), architecte et designer de renom, est le père de deux expressions qui résument à elles seules le programme de l'ingénierie environnementale : d'une part celle d'«esclave énergétique» et d'autre part celle de «vaisseau spatial Terre (*Spaceship Earth*)». Le point commun entre Fuller, Allenby, ou plus récemment le manifeste éco-moderniste du *BreakThrough Institute* (2015)²², est de concevoir la Terre comme une machine optimisable. Comme l'écrit Allenby, l'idée est bien de *planifier* «l'ingénierie de la planète» (1999a, p. 3). Il s'agit, à nos yeux, d'une ingénierie béate et politiquement très naïve.

Il existe une autre approche opposée de l'écologie industrielle, nommée en France «écologie industrielle *et* territoriale» qui, comme son nom l'indique, tente de conférer à l'ancrage territorial une triple dimension : matérielle, sociale et culturelle (Buclet 2011). Cette seconde approche est attentive à la capabilité des acteurs économiques au sein d'un territoire et tente non seulement de boucler les flux, mais de diversifier les liens. Lorsque Nicolas Buclet conclut son livre sur l'écologie industrielle et territoriale sur les valeurs de «réciprocité, coopération, échanges sur une base d'égal à égal, diversité, autonomie» (Buclet 2011, p. 298), il semble résumer la transition des «communs». Tandis que la première école (l'écologie industrielle de Brad Allenby) relève d'une approche environnementale qui se limite à l'industrie, la seconde approche (l'écologie industrielle et territoriale de Nicolas Buclet) relève d'une approche orientée milieux et engage l'ensemble de la société et non seulement un site industriel. Si l'écologie industrielle se contente de boucler

[22] <http://www.ecomodernism.org/francais>

des flux matériels et énergétiques (dont le fameux site danois de Kalundborg offre un modèle²³), l'écologie territoriale suppose, elle, de modifier les pratiques et les usages, ce pourquoi elles ne pensent pas les bouclages de flux indépendamment des dynamiques d'acteurs²⁴. L'opposition entre écologie de l'environnement et l'écologie du milieu appliquée à l'analyse du métabolisme territorial rejoint donc celle entre économie circulaire et écologie territoriale (Buclet *et al.* 2018).

4] Au-delà de l'ingénierie environnementale: le cas des TIC

L'ingénierie environnementale ou l'éco-conception industrielle peut se résumer par l'effort que font les ingénieurs pour réduire l'impact environnemental de nos technologies et cela durant les cinq phases de leur cycle de vie. Cet effort demande beaucoup de calculs et de savoir-faire. Et pourtant, dans le cas du numérique, ou ce qu'on nommait naguère les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), il ne suffit guère. Cet effort est toujours nécessaire, mais toujours insuffisant.

L'industrie numérique semble se construire sur une absence de prise en compte des limites planétaires – ce pourquoi José Haloy les qualifie de technologies zombies (voir **chapitre 11**). Aujourd'hui comme hier, le numérique a favorisé le techno-solutionnisme (voir **chapitre 12**). Pourtant, la double erreur de la dématérialisation et du découplage (entre les flux d'informations et de services d'une part et les flux matériels et énergétiques d'autre part) a été largement démentie.

Nous devons ici préciser deux points, deux préceptes méthodologiques. Le premier se fonde sur la matérialité de l'information, soit l'idée que toute information numérique est supportée par des infrastructures physiques (*data center*, câbles sous-marins, etc.), certes largement invisibles mais tout à fait massives. Ainsi, l'idée

[23] <https://www.symbiosis.dk/en/>

[24] Par exemple, l'initiative d'écologie industrielle CLES (Coopération Locales et Environnementales en Synergies) dans le port de Strasbourg (<https://www.cles-ports-de-strasbourg.eu/>) ne se contente pas de boucler les flux et d'innover dans les procédés industriels, car les collaborations mises en place comprennent des achats groupés, les locations de matériel ou encore la mutualisation de sessions de formation.

que l'information elle-même, qui est tout sauf une donnée brute, est une infrastructure, une technique dont la signification n'est pas indépendante de sa matérialité²⁵. Le second est celui de la construction computationnelle de l'environnement (de son concept) et celui de la construction numérique de la globalisation (de sa pratique)²⁶. Ces deux préceptes méthodologiques se conjuguent évidemment et peuvent, d'une manière générale, résumer les différentes rencontres possibles entre « média » et « environnement » (Starosielski & Walker 2016). Il ne suffit pas de dire que les médias sont des environnements (McLuhan), encore faut-il comprendre que les environnements sont des médias²⁷. Ce qu'on nomme aujourd'hui « environnement » est très largement une construction informatique ou numérique. Par contraste avec les sciences de l'environnement ou les sciences du climat qui relèvent d'une vaste machinerie (Edwards 2013), le savoir propre à la conception orientée milieux ne se fonde pas sur l'automatisation du calcul.

Notre propos ici ne relève pas de la dénommée « écologie des médias », il est de déconstruire les promesses du numérique environnemental (le mariage conservateur de l'IA et de l'Environnement). Pour déconstruire les promesses du numérique environnemental, nous pouvons ainsi rappeler les trois constats de base de Lorenz

[25] La matérialité de l'information peut s'exprimer par ce qu'elle fait et ce qu'elle fait faire (Leonardi 2010), mais dans sa forme radicale, elle consiste à dire que l'écriture des « bits » ne peut pas échapper aux contraintes matérielles des dispositifs physiques qui les manipulent, les stockent et les échangent (Blanchette 2011). En réalité, les infrastructures physiques et les infrastructures informationnelles sont les deux faces d'une même matérialité (Dourish 2017).

[26] Comme le note Nathan Ensmenger (2018) dans son histoire environnementale de l'informatique, la série d'échanges transnationaux de matériaux qui rendent possible la technologie numérique est également les produits de cette technologie, en ce sens que l'histoire du transport maritime par conteneur n'implique pas seulement l'histoire du conteneur mais aussi l'histoire de l'informatisation. Ceci pour souligner que la relation entre la « puissance de calcul » et les processus plus traditionnels d'extraction, d'échange, de gestion et de consommation des ressources.

[27] La réciprocité de l'environnement-média (le nuage artificiel et le nuage naturel) a été analysée par John Durham Peters (2015).

Hilty, directeur de l'*Informatics and Sustainability Research Group*, lors de sa participation au *Conference List* de 2016 (Hilty 2016) :

1. En dépit de la [prétendue] loi de Moore, nous utilisons de plus en plus de matière pour les produits numériques
2. En dépit de la [prétendue] loi de Koomey, nous utilisons de plus en plus d'énergie pour les services numériques
3. En dépit de l'augmentation des biens issus du secteur des services, le besoin en matière n'a pas diminué.

Depuis le début des années 2000, il est d'usage dans la littérature spécialisée de distinguer trois types d'effets : premier ordre (effets « directs »), deuxième ordre (substitution à fonction sociale identique) et troisième ordre (modifications des fonctions sociales) (Berkhout & Hertin 2001). On a reproché à cette lecture de confondre le descriptif et le normatif²⁸. Cette typologie a été reformulée comme suit 1) les impacts directs de la production et de l'utilisation des TIC sur l'environnement, aussi appelés *Life-cycle impacts* ; 2) les impacts indirects liés à l'effet des TIC sur les processus de production, les produits et les systèmes de distribution, aussi appelés *Enabling impacts*, qui mesurent, à l'échelle micro-économique, les bénéfices de

[28] « Les effets du déploiement des TIC relativement aux enjeux écologiques sont généralement classés en trois grandes catégories, à la suite de Berkhout et Hertin (2001) : premier ordre (effets “directs”), deuxième ordre (substitution à fonction sociale identique) et troisième ordre (modifications des fonctions sociales) [...]. Les effets directs positifs seraient le monitoring environnemental (imagerie satellite, etc.), tandis que les effets négatifs seraient la consommation d'énergie et les déchets. Cette présentation extrêmement répandue induit en erreur. Mettre en regard l'imagerie satellite et sa consommation d'énergie, c'est déjà induire de manière sous-jacente une discussion sur les coûts et les bénéfices, le “positif” et le “négatif”, ouvrant sur la question de la substitution. Premier et second ordre sont donc assez largement confondus. Nous proposons une analyse des différentes catégories d'effets des TIC distinguant le descriptif du normatif. Une infrastructure informationnelle a toujours une existence écologique, qu'elle soit sous forme papier, charnelle (déplacement physique, échanges oraux) ou numérique. Cette phase de description des faits (1^{er} ordre) est soigneusement détachée de toute la discussion sur la substitution (2^e ordre) ou de la transformation sociale (3^e ordre), qui engagent des jugements de valeur (coûts et bénéfices, “positif” et “négatif”) et des normes » (Flipo *et al.* 2016, p. 38-39).

l'utilisation des services numériques ; 3) les impacts structurels/comportementaux, aussi appelés *Structural impacts*, qui s'intéressent aux macro-transformations socio-économiques qui modifient les modes de vie et les systèmes de valeurs (Hilty & Aebischer 2015, p. 23-32). En réalité, cette tripartition ne fonctionne pas, car les indicateurs environnementaux ne suffisent plus dès lors qu'on sort du paradigme applicatif, ou dès lors que l'on comprend que pour réduire les impacts environnementaux directs, il n'est d'autre moyen que de transformer, par la technique, les fonctions sociales elles-mêmes. Selon nous, ces trois niveaux ne disent ainsi rien d'autre que la différence entre le *design de l'environnement* qui se contente de réduire les impacts matériels des TIC (hardware & software) et le *design du milieu* (ou DfS) qui tente de redéfinir, par le numérique, les fonctions sociales. Ce pourquoi nous avons reformulé le tableau du modèle des trois niveaux des effets des TIC, proposés par Hilty et Aebischer (2015, p. 25) (**figure 3**). Contrairement à la figure originale, nous pensons que les flèches sont à doubles sens : il n'y a pas la technique, qui permet son *application*, qui permet à son tour, comme par magie, le changement structurel (la transition vers la soutenabilité) ; il y a le changement structurel, à savoir le changement de paradigme, ou en l'occurrence le changement de conception de la conception, orienté vers une nouvelle *implication* des technologies numériques telle qu'elles réduisent les impacts négatifs des autres technologies et d'elles-mêmes. Or ce changement présuppose un sursaut politique qui fait actuellement défaut.

Il suffit de parcourir les rapports qui traitent de l'impact environnemental des TIC, pour se rendre à l'évidence : les ingénieurs sont passés d'un design de l'objet (*poïesis*) à celui des usages et pratiques (*praxis*), que l'on résume aujourd'hui par le mot de sobriété numérique²⁹. Le cas des technologies numériques est tout à fait

[29] Le terme de «sobriété numérique» a été forgé en 2008 par l'association GreenIT. fr pour désigner la démarche qui consiste à concevoir des services numériques plus sobres et à modérer ses usages numériques quotidiens (Borbage 2008).

Pourtant, le dernier rapport de GreenIT (2019) insiste peu sur la sobriété. Sur les quatre principales mesures de réduction de l'empreinte environnementale du numérique qu'il préconise, trois concernent la réduction (des objets connectés, des écrans, des besoins matériels et énergétiques des

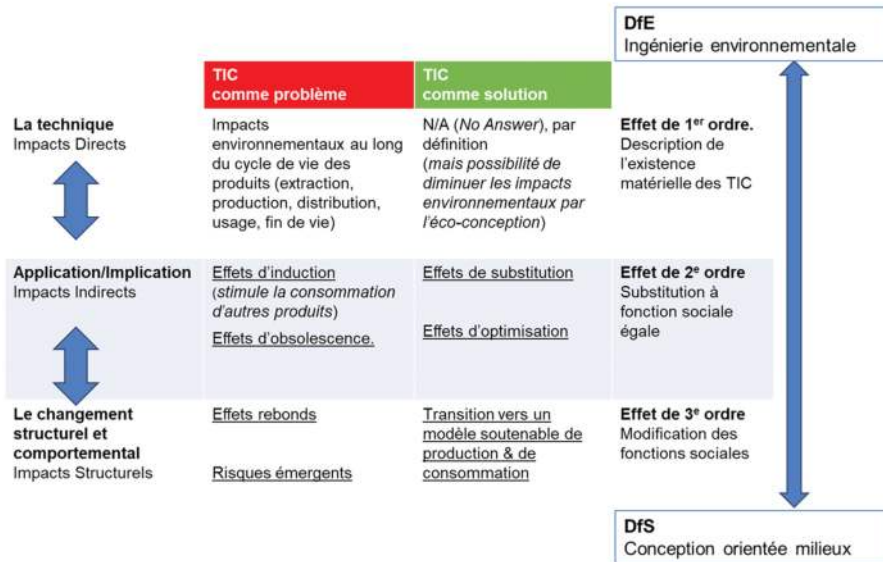


FIGURE 3. Le modèle des trois niveaux de l'effet des TIC (d'après Hilty & Aebischer 2015) revisité par nos soins.

emblématique de l'échec du DfE ou de l'insuffisance de l'éco-conception. Qui pense réellement qu'un *smartphone* peut être *green*? L'éco-conception d'un *smartphone* est intéressante là où elle échoue. Pour autant, cela n'enlève rien au mérite du Fairphone qui semble le *smartphone* le plus responsable du marché (voir [chapitres 2 et 14](#)). Le Fairphone a le grand mérite d'ouvrir la boîte noire du numérique, environnementale et sociale, et de proposer un certain modèle de DfD (*Design for Disassembly*) qui favorise la réparabilité et donc la durabilité du produit. Mais l'éco-conception d'un produit ne peut suffire; ce pourquoi il faut se tourner vers l'écosystème FairTec qui comprend outre le Fairphone, TeleCoop (un opérateur télécom coopératif), /e/OS (un système d'exploitation open-source), Commown

services numériques) et une l'augmentation (de la durée de vie des équipements). Les solutions proposées sont surtout technologiques (rarement juridiques) et relèvent de l'éco-conception plutôt que de l'éco-consommation. C'est l'association The Shift Project qui a su donner toute sa portée au concept de sobriété numérique dans son rapport de 2018. Ce rapport insiste tout particulièrement sur la responsabilité des usages, et pointe la possibilité de renoncer à ceux-ci le cas échéant.

(un service coopératif de location de matériel électronique)³⁰. Alors, et seulement alors, nous voyons quelque chose comme une modification des fonctions sociales, et nous pouvons espérer un numérique responsable. Si le cas des technologies numériques nous semble particulièrement propice à faire comprendre la différence entre ingénierie environnementale et design orienté milieux, c'est qu'à l'instar de la politique industrielle menée par FairTec, il illustre à merveille la nécessité de passer d'une *éco-conception du produit* à une *éco-conception des pratiques* (Wallenborn 2015).

Le numérique, dont l'impact matériel est par définition problématique, peut cependant accompagner une dynamique de transition qui s'appuie sur ce que Yochai Benkler nomme la «production par les pairs basés sur les communs» (Benkler 2009 [2006]). C'est le modèle de fonctionnement de l'encyclopédie libre (Wikipedia), de nombreux projets de logiciels open source (Linux, Apache HTTP Server, Mozilla Firefox) ou des communautés de design ouvert (Wikihouse, RepRap, Farmhack). Ce modèle est valorisé par les travaux de Michel Bauwens et Vasilis Kostakis qui œuvrent à un *design des communs* (Bauwens & Kostakis 2017; Bauwens *et al.* 2019)³¹. Dans un article qui montre en quel sens les communs numériques peuvent accompagner la transition écologique, ils s'appuient sur deux exemples : celui de l'initiative OpenBionics³² et celui des micro-éoliennes ouvertes (Kostakis *et al.* 2016). Les auteurs mettent en avant le travail de technologie d'Hugh Piggott, spécia-

[30] <https://fairtec.io/fr/>

[31] Si la première vague de production commune par les pairs (*commons-based peer production*) était plutôt celle de la connaissance ouverte et du logiciel, la seconde semble s'orienter vers la production de matériel et peut donc avoir un impact sur la fabrication. Le cosmopolitisme de Michel Bauwens ou la «conception globale, fabrication locale» (*design global, manufacture local*) de Vasilis Kostakis participent de cette conviction. D'un côté, nous aurions une conception légère qui serait développée, partagée et améliorée en tant que bien commun numérique mondial, et de l'autre nous aurions la fabrication lourde, qui aurait lieu localement au sein de petites unités agiles dont les FabLabs offrent le modèle. Les auteurs s'inspirent aussi du projet d'entrepreneuriat alternatif et open source *Enspiral* (<https://www.enspiral.com/>) et du projet de co-conception ouverte *Sensorica* (<https://www.sensorica.co/>)

[32] <https://openbionics.com/>

liste mondialement reconnu des petites éoliennes, qui a favorisé la naissance d'un réseau mondial de concepteurs, de fabricants et d'utilisateurs de petites éoliennes fabriquées localement³³. Le projet WindEmpowerment, cette association pour le développement de petites turbines éoliennes fabriquées localement pour l'électrification rurale durable, pourrait servir d'exemple à une conception orientée milieux où *poiesis* et *praxis* ne sont pas séparés puisque ce ne sont pas seulement des turbines qui sont proposées aux communautés locales, mais une culture technique³⁴.

Du point de vue environnemental, le numérique est un désastre et ceci reste vrai de l'IA. Mais du point de vue écologique, le numérique peut être une chance, du moins s'il accompagne le mouvement des *communs* qui marie en quelque sorte le logiciel libre de l'informaticien Richard Stallman et les ressources communes de l'économiste Elinor Ostrom (Petit 2017b).

Pour réconcilier transition écologique et transition numérique, il faut mettre celle-ci au service de la conception orientée milieux ou du design des communs. Autrement dit, il faut travailler à cet oxymore qu'est le «low-tech numérique». Le low-tech n'est pas un retour à l'artisanat, puisqu'il existe ainsi un *low-tech du high-tech*, qu'il s'agisse d'ordinateur (par exemple, celui que l'organisation britannique Raspberry commercialise depuis 2011) ou d'internet (par exemple, celui de Guifi.net: ce réseau de télécommunication communautaire et son projet Cloudy) (Baig *et al.* 2018)³⁵. *Pour lutter contre l'effet rebond l'efficacité est inefficace*, seule la conception orientée milieux l'est, car elle prend en compte la distinction entre *l'efficacité* et *l'optimalité* – par exemple, le site du *LowTech magazine* est efficace sans être optimal.

Les partisans même du low-tech numérique le qualifie plus volontiers de «numérique situé» (Nova & Roussilhe 2020). Pourquoi

[33] <https://scoraigwind.co.uk/>

[34] <https://windempowerment.org/>. On pourra se reporter au guide de maintenance, cf. Cesa *et al.* (2018).

[35] Le réseau *Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias* (<https://www.tic-ac.org/>) porté par l'association Rhizomatica est aussi cité comme exemple de technologies de l'information et de la communication comprises comme commun. (Cf. Bravo, 2018)

encourager un numérique situé? Car la dimension territorialisée ou non est importante pour départager l'ingénierie environnementale de la technologie du milieu. Par exemple, le projet Bitnation (projet *open-source* et décentralisé fondé sur la *blockchain* Ethereum via des contrats intelligents) ne relève pas de la technologie du milieu car il est en réalité la mise en œuvre d'un capitalisme de plateforme à tendance transhumaniste (sans État ni Nation, sans lieu ni milieu, où le seul lien, la seule attache, le seul «habiter» qui persiste est celui d'un contrat numérique)³⁶. Symétriquement, le réseau des CHATONS³⁷ comme celui des FAI libres (FDN)³⁸ vise à territorialiser et démocratiser les infrastructures numériques. Une politique industrielle de territorialisation des data centers serait de ce point de vue une véritable innovation³⁹.

5] Conclusion. Ni *BigTech*, ni *LowTech* mais *MilieuTech*

Comme nous l'avons vu au premier chapitre, pour comprendre la résistance des milieux, il est possible de partir de l'étude des échecs technologiques⁴⁰. Une innovation qui échoue est une innovation qui n'a pas su intégrer dans sa conception même, dans son contenu, dans ses caractéristiques techniques, le milieu nécessaire à son fonctionnement. Mais cela ne signifie pas que les technologies qui réussissent relèvent nécessairement d'une intégration durable

[36] <https://tse.bitnation.co/>.

[37] CHATONS est le Collectif des Hébergeurs Alternatifs, Transparents, Ouverts, Neutres et Solidaires: <https://chatons.org/>.

[38] On en trouvera une liste ici: <https://framalibre.org/tags/fournisseur-dacc%C3%A8s-%C3%A0-internet-fai>. Sur l'enjeu de cet internet de proximité, cf. Musiani (2015).

[39] Le rapport de l'ADEME est clair: «Ainsi, stockage distribué dans les terminaux informatiques et petits data centers de proximité constituent une solution possible pour réduire les impacts spatiaux (emprise au sol notamment) et énergétiques des data centers» (Diguet & Lopez 2019, p. 83).

[40] Le Centre de Sociologie de l'Innovation de l'École des Mines (Akrich, Callon, Latour) a étudié un grand nombre de projets avortés depuis le véhicule électrique jusqu'à Aramis, en passant par des kits photovoltaïques qui se sont perdus en Côte d'Ivoire ou des gazogènes qui se sont démembrés au Costa Rica: comprendre les échecs est la meilleure stratégie pour rendre les succès intelligibles (voir chapitre 1).

au milieu. La plupart des technologies existantes, tel notre banal *smartphone*, sont irresponsables du point de vue de l'écologie – celle de la nature, mais aussi celle de l'esprit. La question des technologies écologiques est donc une question complexe que nous ne prétendons évidemment pas clore ; la distinction entre ingénierie environnementale et technologie du milieu que nous avons esquissée n'étant pas tant une réponse qu'une manière de mieux formuler la question.

Ni BigTech, ni LowTech, mais MilieuTech. Si la BigTech est condamnée c'est en tant qu'elle œuvre à la scalabilité (destructrice de diversité) et au techno-solutionnisme. Si le terme de LowTech nous semble peu judicieux, c'est qu'il risque de nous faire croire qu'il faut revaloriser l'artisanat face à l'industrie⁴¹. Ce pourquoi nous proposons de parler de *MilieuTech*, non seulement pour subvertir l'opposition du *High* et du *Low*, peu pertinente en contexte de transition écologique et numérique, mais aussi pour faire comprendre qu'une technique dite soutenable est avant tout une technique ouverte sur son milieu, ses habitants, ses praticiens plutôt que ses usagers. Le *LowTech* est avant tout un plaidoyer pour une technologie qui ne produit jamais un objet technique sans la culture technique qui en donne les clés. De ce point de vue, Gauthier Roussilhe⁴² ou Stéphane Crozat⁴³ sont associés au mouvement *LowTech*, mais leur démarche pourrait tout aussi bien, et peut-être mieux, se qualifier de *MilieuTech*.

Pour comprendre la philosophie du *MilieuTech*, adoptons la maxime suivante : *considérons nos techniques ni comme nos dieux, ni comme nos esclaves, mais comme nos enfants*. La formule en tant que telle n'est pas de Simondon, mais elle est directement inspirée par sa philosophie⁴⁴. Considérer nos techniques comme nos dieux

[41] Le terme de Low-Tech, dont le succès chez les ingénieurs est grandissant, est relativement récent et fait probablement suite au livre de Philippe Bihoux. L'idée cependant est plus ancienne, et a eu bien des noms ces cinquante dernières années (technologies simples, technologies conviviales, technologies intermédiaires, slow design, etc.). Sur les origines du Low-Tech, cf. Petit (2022).

[42] <https://gauthierroussilhe.com/>

[43] <https://stph.crzt.fr/co/stph.html>

[44] « J'ai affirmé que la machine n'est ni un esclave ni un instrument utilitaire, valable seulement par ses résultats. J'ai enseigné le respect

ou comme nos maîtres, c'est succomber au transhumanisme de Ray Kurzweil (Alphabet-Google) ou au techno-solutionnisme d'Elon Musk. Considérer nos techniques comme nos esclaves, c'est en faire de simples moyens (neutres) au service de fins maîtrisées, c'est succomber à notre vision des « esclaves énergétiques ». Considérer nos techniques comme nos enfants, c'est casser le paradigme de la maîtrise (et son symétrique, la non-maîtrise de notre maîtrise) pour lui substituer celui de la responsabilité et du soin. Bien souvent, la conception orientée milieux relève du faire-avec, tel le thérapeute, plutôt que du faire (voir **chapitre 14**)⁴⁵. Pour la faire entendre, nous pourrions suivre Matthew B. Crawford suggérant que « pour l'exercer correctement, il vous faut être attentif, comme dans une conversation, et non pas simplement affirmatif, comme dans une démonstration » (Crawford 2010).

La conception orientée milieux, qui vise à substituer au paradigme de la maîtrise technologique (et à sa critique: l'impossible « maîtrise de notre maîtrise ») celui du soin technologique, a une exigence philosophique fondamentale qui consiste à ne pas retomber dans le piège du divorce moderne entre environnement et technique⁴⁶, ou pire entre technique et vie⁴⁷. Une des expressions de ce divorce consiste à séparer la technosphère de la biosphère – en oubliant que cette dernière est très largement industrielle⁴⁸. Le philosophe de terrain Matthieu Duperrex, lors d'une étude d'une passe

de cet être qu'est la machine, intermédiaire substantiel entre la nature et l'homme ; j'ai appris à la traiter non comme un serviteur, mais comme un enfant » (Simondon, « Place d'une initiation technique dans une formation humaine complète » 2014, [1953], p. 204).

[45] Catherine et Raphaël Larrère, distinguent deux approches de la restauration écologique de milieu naturel, qui se fondent deux paradigmes distincts décrits par les auteurs comme (1) le démiurge ou le paradigme du *faire* et (2) le pilote ou le paradigme du *faire-avec*. (cf. Larrère & Larrère 2015, chap. 6.)

[46] Les historiens de l'environnement et les historiens de la technique savent désormais que ce divorce est impossible, ce pourquoi ils s'unissent (<https://www.envirotechhistory.org/>).

[47] Pour une analyse de ce divorce et sur la manière de le surmonter, cf. Guchet (2021).

[48] Notre technosphère est très largement composée de vivants, ce pourquoi il n'y a aucun sens à opposer biosphère et technosphère (Russell 2003).

à poissons sur la Garonne, illustre notre impossibilité pratique et théorique de séparer technosphère et biosphère. La conception orientée milieux, précise-t-il, suppose d'être sensible à ces changements cosmologiques, car elle doit apprendre à « composer avec une pluralité d'existants précaires et une pluralité de mondes incomplets » (Duperrex 2019 [2010]). Si la conception orientée milieux n'a pas la complétude computationnelle de l'ingénierie environnementale, elle n'en demeure pas moins plus efficace écologiquement.

Pour aller plus loin

GAUTHIER Roussilhe & MATEUS Quentin (2023), *Perspectives LowTech*, éd. Divergences.

Cet ouvrage montre en quel sens le low-tech lui-même est susceptible d'être récupéré par une ingénierie environnementale qui l'ampute de sa transformation politique. Contre cette récupération, il présente une version enrichie du low-tech qui n'est pas une opposition stérile au high-tech, mais qui définit une approche de conception qui présuppose la « redéfinition du milieu contraint » (p. 73). Un des exemples développés dans ce livre est celui de la coopérative l'Atelier paysan (<https://www.latelierpaysan.org/>) qui propose certes des technologies agricoles qu'on pourrait qualifier de low-tech (l'esprit initial, en réalité, est plutôt celui des *communs technologiques*), mais qui insistent sur cette idée que ces technologies ne suffiront pas sans une politique agricole, et aussi alimentaire, différente. Autrement dit, l'autonomie technologique des paysans sur leur ferme ne suffit pas, il faut en outre l'accompagner d'une autonomie des populations sur leur alimentation, ce pourquoi les membres de l'Atelier paysan s'engage dans un Collectif pour une Sécurité sociale de l'alimentation (voir le projet Territoires à vivres, à Montpellier).

L'ATELIER PAYSAN (2021), *Reprendre la Terre aux machines. Manifeste pour une autonomie paysanne et alimentaire*, Seuil.

L'Atelier paysan, mentionné ci-dessus, est une coopérative (SCIC SA) qui accompagne les agriculteurs et agricultrices dans la conception et la fabrication de machines et de bâtiments adaptés à une agroécologie paysanne. En remobilisant les producteurs et productrices sur les choix techniques autour de l'outil de travail des fermes, les coopérateurs retrouvent collectivement une souveraineté technique, une autonomie par la réappropriation des savoirs et des savoir-faire. Ce livre, très informé, est leur manifeste techno-critique. Pour lutter contre l'automatisation de l'agriculture, il montre qu'il n'est pas d'autres manières que de faire appel au travail humain.

Depuis plusieurs années, je cite souvent l'exemple de l'Atelier paysan en parallèle à celui de Framasoft. Quoique rien, à première vue, ne rassemble ces deux associations, il s'agit en réalité de deux coopératives d'éducation technique populaire qui incarnent parfaitement à nos yeux la conception orientée milieux. La technique n'y est jamais coupée de son savoir-faire et de son savoir-vivre.

DENIS Jérôme & PONTILLE David (2022), *Le Soin des choses. Politiques de la maintenance*, La Découverte.

Cet ouvrage de Jérôme Denis et David Pontille, du Centre de sociologie de l'innovation de l'École des Mines, porte sur la maintenance ou l'art de faire durer les choses, et aide à comprendre le «peuple des choses» qui compose nos milieux de vie et avec lequel nous cohabitons. S'émancipant de l'obsession pour l'innovation qui reste au cœur des imaginaires politiques contemporains, les deux auteurs explorent une autre facette des objets en invitant à prêter attention à toutes celles et tous ceux qui prennent soin des choses, à toutes ces personnes, amatrices ou expertes, qui œuvrent à prolonger la vie sociale des objets. Pour eux, l'observation des pratiques de maintenance offre en effet des pistes afin d'élaborer une éthique du soin et de la coexistence qui prend en compte l'altérité et ce qui échappe à la planification, à savoir les innombrables ajustements quotidiens grâce auxquels tient le monde (chapitre 6). Cet ouvrage n'est pas à vocation écologique, mais il va de soi que l'émergence des *repair and maintenance studies*, a un intérêt écologique évident puisque le meilleur moyen de lutter contre l'excès de nos déchets reste de faire durer nos objets.

BUCLET Nicolas, BARLES Sabine, CERCEAU Juliette & HERBELI Alice (2015), chapitre I, «L'écologie territoriale entre analyse de métabolisme et jeux d'acteurs», in Nicolas Buclet (dir.), *Essai d'écologie territoriale*, CNRS Éditions, p. 13-45. En ligne : <https://books.openedition.org/editionscnrs/28348?lang=fr>

Parmi les nombreuses références données, nous avons sélectionné cet article, car il est en *open access* et qu'il présente une opposition entre écologie industrielle (économie circulaire) et écologie territoriale qui fait écho à notre opposition entre écologie de l'environnement et écologie du milieu. Pour l'écologie territoriale, le métabolisme économique ne se limite pas aux flux et aux ressources matériels, mais intègre les flux et les richesses immatérielles qui participent du fonctionnement territorial.

Bibliographie

- ADAMS Richard, JEANRENAUD Sally, BESSANT John, DENYER David, OVERY Patrick (2016), "Sustainability-oriented innovation: A systematic review", *International Journal of Management Reviews* 18(2), p. 180-205.
- ALLENBY Braden R. (1999a), "Culture and industrial ecology", *Journal of Industrial Ecology* 3(1).
- ALLENBY Braden R. (1999b), "Earth Systems Engineering: The Role of Industrial Ecology in an Engineered World", *Journal of Industrial Ecology* 2(3), p. 73-93.
- AYRES Robert & AYRES Leslie (2002), *A Handbook of Industrial Ecology*, Edward Elgar Publishing.
- BAIG Roger, FREITAG Felix & NAVARRO Leandro (2018), "Cloudy in guifi.net: Establishing and sustaining a community cloud as open commons", *Future Generation Computer Systems* 87, p. 868-887.
- BLANCHETTE Jean-François (2011), "A Material History of Bits", *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 62(6), p. 1042-1057.
- BRAVO Loreto (2018), «Décoloniser les médias et les technologies numériques», *Médias libres: enjeux, défis et propositions*, juillet, <https://www.ritimio.org/Decoloniser-les-medias-et-les-technologies-numeriques#nh6>.
- BANHAM Reyner (2011), *L'Architecture de l'environnement bien tempéré*, éd. HXX.
- BAUWENS Michel & KOSTAKIS Vasilis (2017), *Manifeste pour une véritable économie collaborative. Vers une société des communs*, Fondation Charles Léopold Mayer
- BAUWENS Michel, KOSTAKIS Vasilis & PAZAITIS Alex (2019), *Peer to Peer: The Commons Manifesto*, University of Westminster Press.
- BEAUBOIS Vincent & PETIT Victor (2018), "Design Made in France: Perspectives on 'Industrial Aesthetics' (1951-1984)", in B. Bensaude-Vincent, X. Guchet, S. Loeve (eds), *French Philosophy of Technology*, Springer, p. 345-358.
- BENKLER Yochai (2009), *La Richesse des réseaux*, PU de Lyon.
- BERKHOUT Frans & HERTIN Julia (2001), "Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability: speculations and evidence", *Report to the OECD*.
- BORDAGE Frédéric (2018), «La société s'empare de la sobriété numérique», GreenIT.fr.
- BORGMAN Albert (2009), *Technology and the Character of Contemporary Life: A Philosophical Inquiry*, University of Chicago Press.
- BUCKET Nicolas (2011), *Écologie industrielle et territoriale*, Presses universitaires du Septentrion.
- BUCKET Nicolas, BARLES Sabine, CERCEAU Juliette & HERBELI Alice (2015), chapitre I, «L'écologie territoriale entre analyse de métabo-

- lisme et jeux d'acteurs», in Nicolas Buclet (dir.), *Essai d'écologie territoriale*, CNRS Éditions, p. 13-45. En ligne : <https://books.openedition.org/editions-cnrs/28348?lang=fr>
- CARNINO Guillaume & MARQUET Clément (2018), «Les *datacenters* enfoncent le *cloud* : enjeux politiques et impacts environnementaux d'internet», *Zilsel* 3(1), p. 19-62.
- CRAWFORD Matthew B. (2010), *Éloge du carburateur, essai sur le sens et la valeur du travail*, La Découverte.
- CESA Gaël, BRUNEL Marie-Laure & STRASILLA Jérôme (2018), *Maintenance Manual for "Piggott" Small Wind Turbines*, Windempowerment, <https://windempowerment.org/wp-content/uploads/2020/05/Maintenance-manual-v3.2.1-web.pdf>.
- CESCHIN Fabrizio & GAZIULUSOY Idil (2016), "Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions", *Design Studies* 47, p. 118-163.
- COSCIEME Luca et al. (2022), *Unfit, Unfair, Unfashionable: Resizing Fashion for a Fair Consumption Space*. Hot or Cool Institute, Berlin, file:///C:/Users/petit2/Downloads/Hot_or_Cool_1_5_fashion_report_-1.pdf.
- DEBIZET Gilles & LA BRANCHE Stéphane (2019), «Approche critique des scénarios technico-économiques de la transition énergétique», in Vincent Baggioni et al. (dir.), *Repenser la transition énergétique. Un défi pour les sciences humaines et sociales*, Presse Universitaire de Rennes.
- DEBREF Romain (2018), *Innovation environnementale et écoconception. Certitudes et controverses*, ISTE.
- DENIÉLOU Guy (1981), «Les génies et les logies», *Réforme*, mai, cité par Loeve & Deldicque (2018), p. 244-245.
- DIGUET Cécile & LOPEZ Fanny (2019), *L'Impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires*, Ademe.
- DOURISH Paul (2017), *The Stuff of Bits: An Essay on the Materialities of Information*, The MIT Press.
- DUHEM Ludovic & RABIN Kenneth (2018), *Design écosocial: convivialités, pratiques situées & nouveaux communs*, it : éditions.
- DUHEM Ludovic & PEREIRA DE MOURA Richard (2020), *Design des territoires. L'enseignement de la biorégion*, Eterotopia.
- DUPERREX Matthieu (2019), «D'une passe à poissons. Milieux et technique en Anthropocène», *Techniques & culture*, <https://journals.openedition.org/tc/10920>.
- EDWARDS Paul (2013), *A Vast Machine. Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, The MIT Press.
- ENSMENGER Nathan (2018), "The Environmental History of Computing", *Technology and Culture* 59(4), p. S7-S33.
- ERKMAN Suren (1998), *Vers une écologie industrielle*, Éditions Charles Léopold Mayer.

- FELLI Romain (2008), *Les Deux âmes de l'écologie. Une critique du développement durable*, L'Harmattan.
- FLIPO Fabrice *et al.* (2012), *Peut-on croire aux TIC vertes?*, Presses des Mines.
- FLIPO Fabrice, DELTOUR François & DOBRÉ Michelle (2016), «Les technologies de l'information à l'épreuve du développement durable», *Natures Sciences Sociétés* 24(1), p. 36-47.
- FRAMPTON Kenneth (2016), "Towards a Critical Regionalism: six points for an architecture of resistance" [1983], tr. fr. in L. Dousson & L. Vialla (dir.), *Art, architecture, recherche. Regards croisés sur les processus de création*, Espérou, p. 11-39.
- FROSCHE Robert A. & GALLOPOULOS Nicholas E. (1989), "Strategies for Manufacturing", *Scientific American* 261(3), p. 144-153.
- GEDDES Patrick (1994), *L'Évolution des villes, une introduction au mouvement de l'urbanisme et à l'étude de l'instruction civique*, tr. fr. Temenos (éd. orig. *Cities in Evolution*, Williams & Norgate, 1915).
- GEELS F.W. (2005), *Technological Transitions and System Innovations: A Co-evolutionary and Socio-technical Analysis* Northampton, Mass.: Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- GRAEDEL T.E. & ALLENBY Braden R. (1995), *American Telephone and Telegraph Company, Industrial Ecology*, Prentice Hall.
- GREENIT (2019), *Empreinte environnementale du numérique mondial*, <https://www.greenit.fr/empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>
- GUCHET Xavier (2021), *Du soin dans la technique*, ISTE Éditions.
- HAZAS Mike & NATHAN Lisa P. (2018), *Digital Technology and Sustainability Engaging the Paradox*, Routledge.
- HILTY Lorenz (2016), "How to align the digital with the Ecological Transition", Lift Conference, Day 2, 12 fév. 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=v0sL3fKIMaU>.
- HILTY Lorenz M. & AEBISCHER Bernard (2015), *ICT Innovations for Sustainability*, Springer.
- HOLSTON James (1989), *The Modernist City: An Anthropological Critique of Brasília*, The University of Chicago Press.
- HUISMAN Denis & PATRUX Georges (1965), *L'Esthétique industrielle*, PUF.
- INGOLD Tim (1993), "Globes and spheres: the topology of environmentalism", in Kay Milton (ed.), *Environmentalism*, Routledge.
- INGOLD Tim (2000), *The Perception of the Environment Essays on Livelihood, Dwelling and Skill*, Routledge.
- IPCC (2022), *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change*, Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf.
- JACOBS Jane (2012), *Déclin et survie des grandes villes américaines* [1961], Éditions Parenthèses.

- KOOLHAAS Rem & MAU Bruce (1995), *S, M, L, XL*, The Monacelli Press.
- KOSTAKIS Vasilis *et al.* (2016), “The convergence of digital commons with local manufacturing from a degrowth perspective: Two illustrative cases”, *Journal of Cleaner Production*.
- LARRÈRE Catherine & LARRÈRE Raphaël (2015), *Penser et agir avec la nature. Une enquête philosophique*, La Découverte.
- LEONARDI Paul M. (2010), “Digital Materiality? How Artifacts without Matter, Matter”, *First Monday* 15(6).
- LOEVE Sacha & DELDICQUE Timothée (2018), «Les malentendus de la technologie», *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines* 8.
- LE CORBUSIER Charles-Édouard Jeanneret (1964), *La Ville Radieuse. Éléments pour une doctrine d'urbanisme pour l'équipement de la civilisation machiniste* [1933], éd. Vincent, Fréal & Cie.
- LOPEZ Fanny (2022), *À bout de flux*, éd. Divergences.
- MABI Clément (2023), «Le numérique que nous voulons», AOC, 21 mars, <https://aoc.media/opinion/2023/03/20/le-numerique-que-nous-voulons/>.
- MADEC Philippe (2021), *Mieux avec moins. Architecture et frugalité pour la paix*, Terre Urbaine.
- MADEC Philippe (dir.) (2022), *Commune frugale. La révolution du ménage*, Actes Sud.
- MUMFORD Lewis (2011), *La Cité à travers l'histoire*, Agone.
- MILLWARD-HOPKINS J., STEINBERGER J.K., RAO N. & OSWALD Y. (2020), “Providing decent living with minimum energy: A global scenario”, *Global Environmental Change* 65.
- MUSIANI Francesca (2015), *Nains sans géants. Architecture décentralisée et services internet*, Presses des Mines.
- NOVA Nicolas & ROUSSILHE Gauthier (2020), «Du low-tech numérique aux numériques situés», *Sciences du design* 11, p. 91-101.
- PETERS John D. (2015), *The Marvelous Clouds*, University of Chicago Press.
- PETIT Victor (2017), «Perspectives sur le design. Métier, enseignement, recherche», *Cahiers Costech* 1, <http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article26>.
- PETIT Victor (2021), «L'écologie de Bernard Stiegler», *Cahiers Costech* 4, <http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article123>.
- PETIT Victor (2022), «Eco-design. Déprojet et Low Tech», in N. Bruyère, C. Geels, V. Petit, *Global Tools (1973-1975)*, Presses du réel/IsdaT.
- PETIT Victor (2023), «Technologie et/ou Design. Le milieu indiscipliné du technologique», in É. Tortochot, C. Moineau & É. Roy (dir.), *L'Enseignement de design: un geste créatif et une activité formative*, éd. Delatour France, p. 85-101.
- PETIT Victor & DELDICQUE Timothée (2017), «La recherche en design avant la “recherche en design”. Autour de Simondon, Deforge et Moles», *Cahiers Costech* 1, [costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article25](http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article25).

- PETIT Victor & GUILLAUME Bertrand (2018), "We have never been wild. Towards an ecology of technical milieu", in B. Bensaude-Vincent, X. Guchet & S. Loeve (eds), *French Philosophy of Technology*, Springer, p. 81-100.
- PICON Antoine (2022), «Milieu et évolution des "théories" architecturales», in Yann Nussaume (dir.), *Milieu et architecture. Entretiens avec Augustin Berque, Philippe Madec et Antoine Picon*, Hermann.
- QUARANTE Danièle (1987), «Design Industriel à l'Université de Compiègne», in *Design Industriel. Conception de produit. 28 communications (1976-1986)*, Université de technologie de Compiègne.
- RAHM Philippe (dir.) (2020), *Histoire naturelle de l'architecture: comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné les villes et leurs bâtiments*, Pavillon de l'Arsenal
- RICCIOTTI Rudy (2013), *HQE: la HQE brille comme ses initiales sur la chevalière au doigt*, 3^e éd., Le Gac Press.
- ROUSSILHE Gauthier (2020), «Une erreur de tech», mars, <https://gauthier-roussilhe.com/articles/une-erreur-de-tech>.
- ROUSSOPOULOS Dimitri (2017), *L'Écologie politique: au-delà de l'environnementalisme*, Écosociété.
- RUDOKSY Bernard (1964), *Architecture Without Architects: A Short-Introduction to Non-pedigreed Architecture*, MoMA Press (*Architecture sans architectes: brève introduction à l'architecture spontanée*, tr. fr. Chêne, 1977).
- RUSSELL Edmund (2003), "Introduction: The garden in the machine: Toward an evolutionary history of technology", in Susan Schrepfer & Philip Scranton (eds), *Industrializing Organisms: Introducing Evolutionary History*, Routledge, p. 1-18.
- SALOMON-CAVIN Joëlle & BOURG Dominique (2010), «Deux conceptions de la durabilité urbaine: ville prométhéenne versus ville orphique», in T. Paquot & C. Younès (dir.), *Philosophie de l'environnement et milieux urbains*, La Découverte, p. 117-136.
- SCOTT James C. (2021), *L'Œil de l'État. Moderniser, uniformiser, détruire*, La Découverte.
- SEZERAT Laurine (2021), «Les habitant·e·s face à l'«urbanisme négocié»: le cas d'Euroméditerranée II», *Métropolitiques*, 9 septembre, <https://metropolitiques.eu/Les-habitant-e-s-face-a-l-urbanisme-negocie-le-cas-d-Euromediterranee-II.html>.
- SIMONDON Gilbert (2014), *Sur la technique (1953-1983)*, PUF.
- THE SHIFT PROJECT (2018), *Pour une sobriété numérique*, <https://theshift-project.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>
- STAROSIELSKI Nicole & WALKER Janet (eds.) (2016), *Sustainable Media. Critical Approaches to Media and Environment*, Routledge.

WALLENBORN Grégoire (2015), « Eco-conception (Ecologique) », in Dominique Bourg & Alain Papaux (dir.), *Dictionnaire de la pensée écologique*, PUF, p. 309-313.

Partie II

Concevoir par les milieux

Le milieu des milieux : limites planétaires

Michel Dubois & José Halloy

1] Milieu et « système Terre »

La première exigence de la notion de milieu est de produire un mouvement d'élargissement des échelles à prendre en compte dans la conception. Les sciences physiques et géochimiques, qui décrivent le « système Terre », arrivent dans le prolongement naturel de la dynamique d'extension qu'implique la notion de milieu. Jusqu'où aller de milieux en milieux ? La notion de « système Terre » fournit une réponse à la fois évidente et problématique à cette question. Le « système Terre » ne serait-il pas le milieu ultime, le milieu de tous les milieux, auquel rapporter, en dernière instance, tout projet de conception ? Mais le « système Terre » est-il lui-même un milieu ?

En première lecture, le concept paraît opposé aux propriétés que nous avons dégagées pour caractériser la notion de milieu. La notion de « système Terre » apparaît comme l'équivalent par excellence de la notion d'environnement (voir [chapitre 3](#)) : un objet que l'on pourrait observer de l'extérieur. Si nous avons un modèle calculable de ce système, alors nous n'aurions plus qu'à le piloter dans le bon sens et embrasser les perspectives de la géo-ingénierie. Nous voulons montrer que cette vue est erronée et que les sciences du système Terre, si on prend au sérieux les leçons qu'elles nous imposent, nous ramènent, en réalité, aux milieux.

Dans ce chapitre est présenté le caractère indépassable de la condition de planéarité. En apparence, il s'agit d'un fait trivial que chaque ingénieur connaît bien : chaque technique dépend de conditions matérielles. Mais la condition de planéarité implique

deux propositions supplémentaires. Premièrement, il s'agit d'une condition indépassable - nous ne savons pas comment nous pourrions produire de la technique en dehors des milieux terrestres, et ce, même si nous établissions des ensembles de production hors de la Terre, sur la Lune par exemple. Deuxièmement, cette condition indépassable implique immédiatement une exigence logique, avant même d'être éthique ou politique, de soutenabilité : mon activité préserve-t-elle ou détruit-elle les conditions mêmes qui la rendent possible ? À quelles échéances temporelles ? Si tout ce que je fais est sous condition du terrestre, qu'est-ce que je fais moi-même pour cette condition ? Le problème de la soutenabilité du développement technique est une exigence élémentaire attachée à la conception orientée milieu.

Ce conditionnement introduit, de surcroît, une forme radicale de réflexivité, dans laquelle on reconnaît la marque du milieu : tout ce que nous pouvons faire ou même penser s'énonce sous cette condition, dont il est impossible de s'abstraire. De plus, cette condition de planéarité vaut aussi bien pour les sciences du système Terre elles-mêmes. La connaissance objective que nous prenons du système est sous condition du système, non seulement parce qu'elle s'énonce à partir de vivants intriqués dans la condition terrestre – tous physiciens qu'ils soient –, mais aussi parce que tout l'appareillage technique nécessaire à cette connaissance objective dépend de ces conditions objectives. Pour constituer la planète en objet ou système ou en environnement, il faut certes un point de vue surplombant, obtenu par stations de mesure, satellites, etc., mais ce point de vue de surplomb dépend lui-même des conditions matérielles de la planète.

Le « système Terre » n'est donc pas un objet que l'on pourrait simplement surplomber et observer de l'extérieur ; ce surplomb dépend du système observé. Nous en faisons partie et ne pouvons pas en sortir. Même une mission spatiale ne nous abstrait pas de ces limites. Toute l'anomalie actuelle réside cependant dans le fait que l'activité du vivant depuis quelques centaines de millions d'années a conduit à l'existence de stocks en matériaux (calcaires) et en énergie (pétroles, charbons, lignite, gaz) qui permettent des hauts niveaux de puissance et d'énergie pour un temps limité et peuvent donner l'illusion de lever les contraintes des cycles biogéochimiques. Or, les

sciences du système Terre nous obligent à considérer l'absence de séparabilité entre l'humanité technicienne et la planète vivante. Si tout développement technique est intriqué dans les cycles biogéochimiques, nous sommes ramenés aux limites physiques indépassables, dans les conditions scientifiques et techniques actuelles, concernant la disponibilité quantitative de matière et d'énergie.

Si nous savons, à un niveau macro, qu'un « monde sans fin », dans une logique de croissance des consommations matérielles et énergétiques, est autocontradictoire, les sciences de la terre ne nous livrent cependant pas de recettes définitives à appliquer. C'est une rude épreuve pour l'ingénieur : non seulement, il doit se déciller et aller regarder là où il ne regardait pas jusqu'ici, en intégrant des contraintes supplémentaires, mais de surcroît il y est obligé sans règle de calcul définitive. Non seulement les modélisations ne seront jamais terminées et complètes, mais nous sommes nous-mêmes toujours partie prenante de l'équation, qui intègre les dimensions sociales, politiques, économiques, sans les éliminer ou les déterminer.

De plus, les échelles sont toujours enchevêtrées : la perspective globale des cycles biogéochimiques ne subsume pas, dans un raccourci commode, les autres échelles. Par exemple, le changement climatique global n'empêche pas l'existence de microclimats, dus à la contingence des positionnements des continents, des reliefs, des découpages côtiers. Et à l'inverse, toute micro-échelle entretient une forme d'indépendance par rapport au système dans son ensemble. On est toujours obligé de considérer l'un et l'autre. S'impose alors une approche prudentielle plutôt que déterministe. Le quotidien de l'ingénieur est fait de compromis. La conception orientée milieux introduit des obligations supplémentaires.

Nous nous proposons de présenter trois leçons des sciences du système Terre. Nous allons d'abord restituer les données élémentaires qui caractérisent les grands flux biogéochimiques à l'échelle de la planète. Ce premier exposé comporte une leçon cruciale : le système tel que nous le connaissons aujourd'hui possède une dimension irréductiblement contingente et historique. En ce sens, la planète fait déjà milieu. Nous examinerons ensuite deux illusions symétriques qui reposent chacune sur la perspective d'un oubli du milieu, entendu ici comme condition de planéarité : la colonisation

d'exoplanètes et la géo-ingénierie. Ces deux entreprises illustrent les contradictions ou difficultés qui surgissent lorsqu'on croit pouvoir s'abstraire de la condition planétaire; laquelle doit à l'inverse irriguer et orienter chaque projet de conception s'il se réclame du milieu.

2] Flux de matière et flux d'énergie du système Terre

Le concept de «système Terre» fut proposé par la NASA dans les années 1980 dans le cadre de l'observation des phénomènes terrestres, en particulier de l'atmosphère. L'encadré «L'histoire du concept de biosphère» (encadré 1) permet de revenir sur l'idée de Vernadsky dont le système Terre hérite largement. La question des flux de matière et d'énergie du système Terre doit prendre en compte à la fois la technique et le vivant. Aujourd'hui, en 2023, on constate deux types de circulations, celles qui existent depuis peu plus de dix mille ans et que nous qualifierons de naturelles (absence de causalité d'origine humaine), et celles qui sont issues de l'activité humaine laquelle est, en ce qui concerne le système Terre, dominée par l'activité technique matérielle et outillée.

Encadré 1. L'histoire du concept de biosphère

Il a déjà une longue histoire et peut prêter à confusion, car entre le moment de sa conception et son usage aujourd'hui, bien des révolutions en science géologiques et biologiques ont eu lieu. En effet, c'est le géologue Edouard Suess qui la définit, en 1875, c'est-à-dire bien avant la théorie de la tectonique des plaques et de la dérive des continents, dans son ouvrage, désormais dépassé, *La Face de la Terre (Das Antlitz der Erde)*. Suess avait lu Darwin et intégrait ainsi le vivant et son histoire à l'histoire géologique. La biosphère rassemble l'ensemble des volumes terrestres dans lesquels s'épanouit le vivant, ou encore en langue moderne, l'ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie, donc la totalité des écosystèmes présents dans la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère. Vladimir Vernadsky connaissait l'œuvre de Haeckel inventeur du concept d'écologie (1866). Dans une publication datée de 1926, *La Biosphère*, Vernadsky définit l'écologie comme étant la science de la biosphère (Guillaume 2014). Puis, plus d'un demi-siècle plus tard, deux approches très différentes du monde du vivant, et donc de la biosphère, sont proposées.

D'un côté, l'approche de Lynn Margulis et Dorion Sagan, dans leur ouvrage *Microcosmos* (1986), consiste à montrer que l'origine du vivant sont les micro-organismes et que tout le vivant en provient et s'appuie sur ces populations immenses d'êtres minuscules qui restent visibles jusque dans la théorie cellulaire des champignons, plantes et animaux. Toute la biosphère se révèle être constituée des interactions à partir de micro-organismes, procaryotes ou eucaryotes (sans ou avec un noyau distinct). Cette approche est conforme à celle de Stephen Jay Gould (1996) dans *L'Éventail du vivant. Le mythe du progrès (Full House: The Spread of Excellence From Plato to Darwin)* lequel décrit le véritable (dés)ordre de l'évolution comme le fruit du hasard et de la contingence associés à des contraintes physiques permettant de comprendre l'émergence de formes de plus en plus complexes. «Si, avec le temps, la distribution de fréquence pour la complexité de la vie devient de plus en plus biaisée vers la droite, le mode de cette complexité reste constamment figé sur les bactéries» (trad. fr. 1997, p. 212).

D'un autre côté, l'approche de James Lovelock en 1972, *L'Hypothèse Gaïa* suppose que la terre est un organisme vivant, ce qui est contradictoire avec les concepts biologiques et a entraîné de longues controverses. De fait, aujourd'hui, on pourrait dire que la terre est vivante, dans la mesure où la biosphère modifie, et est modifiée par, la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère dans la longue durée, sans pour autant être un organisme, dans le sens classique biologique. Bruno Latour a repris l'image dans son ouvrage *Face à Gaïa* (2015).

La synthèse de l'ensemble de ces flux et leurs effets quantitatifs sur le système Terre peuvent être représentés selon un schéma (figure 1) qui présente ces flux selon deux circulations ; en vert pour ce qui concerne les flux dits naturels et liés à l'activité photosynthétique de la biosphère (plantes et cyanobactéries) qui existaient il y a des milliers de siècles ; en rouge les nouveaux flux, incluant les productions issues des mines et carrières, provoqués par l'activité humaine consommatrice des stocks d'énergies dites fossiles, essentiellement pétroles et bitumes, charbons, houilles et lignites, et gaz naturel (méthane principalement) ainsi que leurs effets sur les cycles dits naturels (carbone, azote, soufre). L'énergie venue du soleil a été schématisée par deux flèches en zigzag jaune, appelée irradiation solaire, la première indiquant l'irradiation totale (en

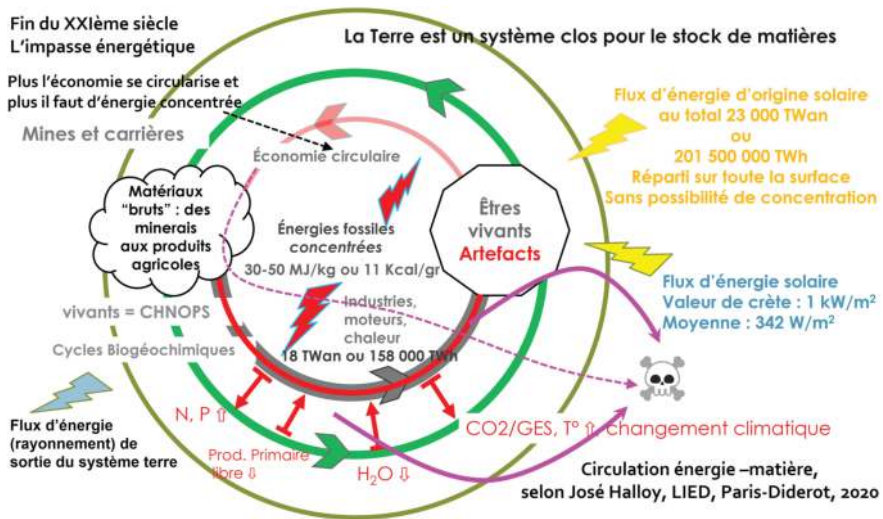


FIGURE 1. Les flux d'énergie et de matière dans la biosphère au XXI^e siècle. Le concept de « système Terre » tel que développé ici, peut être associé à celui de biosphère (encadré 1) conçu bien avant, mais se référant de fait à l'ensemble des écosystèmes, Vernadsky se référant explicitement à l'écologie telle que définie par Haeckel (1866).

TWan ou TWh), et la deuxième, l'irradiation par m² (en W/m²). Celle qui est produite, ou déplacée, par la consommation des énergies fossiles concentrées, a été schématisée par des flèches en zigzag rouges ; cette production vient de l'activité humaine. Une flèche en zigzag bleu, hors du système, en bas à gauche, représente les flux énergétiques (relativement limités) de sortie par les radiations émises par la Terre vers l'espace.

L'acronyme CHNOPS, vient des noms des atomes : Carbone (C), Hydrogène (H), Azote (N), Oxygène (O), Phosphore (P), Soufre (S). Il résume le vivant essentiellement constitué de molécules contenant ces atomes, dans cet ordre d'importance relative. La tête de mort comme conséquence de l'évolution des différents cycles symbolise le danger des associations du forçage radiatif (gaz à effet de serre), des transformations des cycles de l'azote (engrais azotés produits grâce aux énergies fossiles), du phosphore (extrait des mines de phosphates) et du soufre qui provient de plusieurs sources, toutes minérales. Ce que l'on appelle « énergies fossiles » sont des stocks issus, durant la très longue histoire du vivant, de stockages progressivement fossilisés dans les dépôts de sédiments.

Le système Terre connaît un flux permanent d'énergie (photons, particules) en provenance du soleil (irradiation solaire), et un flux légèrement inférieur correspondant au flux de sortie sous forme de rayonnement. Cette légère différence d'environ $7W/m^2$ provient de deux sources : le stockage et l'absorption par la photosynthèse d'une petite part de l'énergie solaire par les plantes et cyanobactéries photosynthétiques, ainsi que le surplus de forçage radiatif par les gaz à effet de serre émis par les humains. Sur cette base, une circulation traverse tout le vivant. Les cycles biogéochimiques qui soutiennent l'ensemble du monde vivant sont analysés pour le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre, l'eau.

La composition de l'atmosphère dépend de ces cycles. La composition en O_2 est beaucoup plus importante que ce qui viendrait de processus physico-chimiques purement abiotiques (sans intervention du vivant) : c'est le résultat d'un long processus, qualifiable « d'historique », propre à l'évolution du vivant depuis plus de trois milliards d'années (figure 2).

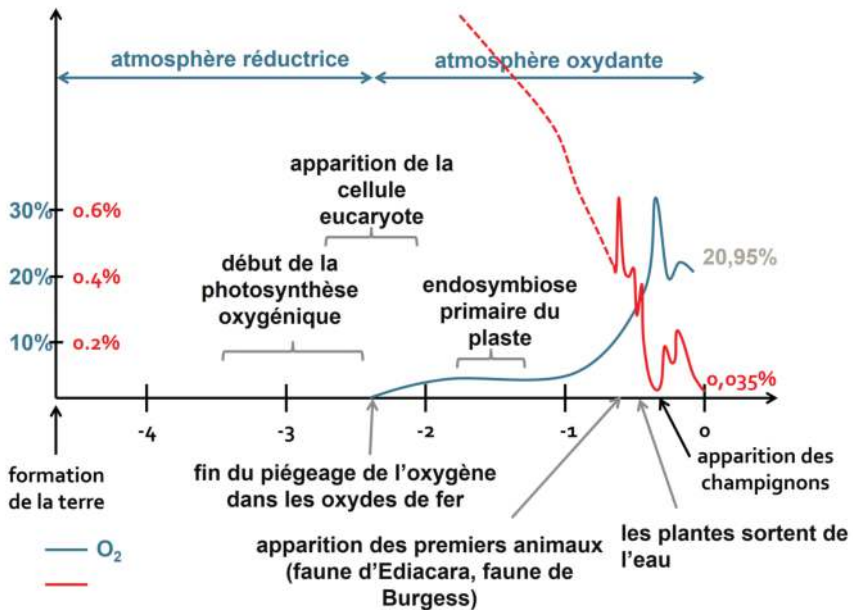


FIGURE 2. Schéma chronologique de l'évolution du vivant et de la composition atmosphérique (Philippe Silar, LIED, Paris Cité, séminaire de février 2016).

L'émergence des cyanobactéries photosynthétiques, il y a environ 3,4 milliards d'années, a conduit à un piégeage de l'oxygène dans les oxydes de fers ; puis, ces derniers devenus saturés, il y a environ 2,3 milliards d'années, l'oxygène produit a commencé à être relâché dans l'atmosphère, début de l'atmosphère oxydante. Cela a créé les conditions d'émergence des cellules eucaryotes, consommatrices d'oxygène, puis des eucaryotes photosynthétiques, il y a un peu plus de 1,5 milliard d'années. Les premières algues pluricellulaires apparaissent vers 1,2 milliard d'années et accroissent considérablement la production d'oxygène dont la concentration atmosphérique s'accroît progressivement. Cette activité photosynthétique produit de la matière organique, sédimentée, ce qui conduit dans la durée à construire les stocks fossiles pétroliers ou gazeux. C'est durant cette « grande oxydation » de l'atmosphère qu'émergent les organismes pluricellulaires à l'origine des embranchements des animaux (faune d'Ediacara, 600 millions d'années BP (*Before Present*, ce présent étant officiellement l'année 1951) ; faune de Burgess, 520 millions BP), puis la sortie des eaux des plantes (450 millions BP). Le développement spectaculaire des plantes, durant la période dite du carbonifère (359 M. BP à 299 M. BP), poursuit le stockage du carbone (formation des charbons) et mène au pic d'oxydation de l'atmosphère (plus de 30 % d'oxygène). Le taux de CO₂ dans l'atmosphère atteint son niveau le plus bas. Les animaux sortent de l'eau et consomment les plantes. L'apparition des champignons conduit à une baisse et une stabilisation du taux d'oxygène dans l'atmosphère aux alentours de 20 %. En effet, les champignons consomment la lignine des bois et ne sont pas photosynthétiques, ils consomment l'oxygène de l'atmosphère pour leur métabolisme et relâchent du CO₂. En conséquence, la lignine des arbres n'a plus le temps de s'accumuler pour former dans la durée du charbon. Ce nouvel état d'équilibre, créé par l'apparition des champignons, sélectionnée par le taux très élevé d'oxygène, marque ainsi la fin de la possibilité d'un autre « carbonifère ».

Ces déplacements de la composition atmosphérique, puis sa relative stabilité, tels que décrits au paragraphe précédent et schématisés par la **figure 2**, proviennent donc de l'activité et de l'évolution du vivant, durant plusieurs milliards d'années, lesquelles ont permis une activité oxydoréductrice endothermique en utilisant comme

source d'énergie les photons émis par le soleil tout en permettant la production de molécules diverses grâce au métabolisme des cyanobactéries puis, en importance relative croissante, du végétal sur les continents. Celui-ci a conduit à des stockages biochimiques dans les sédiments que sont les énergies fossiles sous forme de gaz (surtout méthane), de liquides plus ou moins pâteux (pétroles, bitumes) et de solides (charbons). Cela a conduit aussi à une évolution et une diversification du vivant, dont la diversité, dite biodiversité, a atteint un sommet vers la fin du pléistocène (–2,6 millions à –11 700 ans) et au début de l'holocène (noté 11 700 BP). Cette évolution a conduit aussi à la constitution des sols des milieux terrestres dont la biodiversité est considérable. On voit ici la singularité et l'historicité de la condition de planéarité de la Terre : l'activité et l'évolution des milieux vivants, dans le cadre du « système Terre », ont produit, sur des milliards d'années, une trajectoire « historique » et la singularité de la planète dont les conditions physico-chimiques globales sont décalées par rapport à une planète équivalente sans vie.

Les équilibres issus de cette histoire enchevêtrée de la planète et du vivant sont aujourd'hui perturbés à grande vitesse par l'activité humaine industrielle fondée sur les combustibles dits fossiles, des matériaux minéraux ou issus des activités vivantes. Ces énergies fossiles sont elles-mêmes un produit de cette histoire, constituées de chaînes carbonées, obtenues par réduction chimique du CO_2 atmosphérique, grâce à la photosynthèse. Leur utilisation par l'homme en termes énergétiques consiste à produire de la chaleur par réaction d'oxydation exothermique (le feu à notre échelle de perception), grâce au dioxygène relativement abondant (20 %) en renvoyant du CO_2 . La concentration du CO_2 en volume, était relativement faible il y a dix mille ans (0,028 % ou 280 ppm), et ce jusqu'à environ 1750. Elle a commencé à croître depuis le début de l'ère industrielle, atteignant 0,0381 % ou 381 ppm (parties par millions) en 2006 (Canadell *et al.* 2007), puis 414,7 ppm en 2021, l'année 2022 marquant un nouveau record à 417 ppm, mais aussi un record dans la vitesse du changement (+2,3 ppm). Sa concentration devrait encore augmenter en 2023 d'environ 2,4 ppm comme conséquence de la combustion d'énergie fossile ou d'énergie stockées dans les sols ou les forêts. Si on remonte dans le temps, on constate que ce taux dépasse déjà, aujourd'hui celui d'il y a 600 000 ans.

La figure 1 montre ainsi que l'activité humaine industrielle a pour effet, en ce qui concerne le cycle du carbone, de renvoyer du carbone oxydé (CO_2) dans l'atmosphère, en bas, à droite de la figure ($\text{CO}_2/\text{GES}/T^\circ\uparrow$, changement climatique). Mais elle montre aussi qu'au moins deux autres grands cycles géochimiques sont aussi impactés et associés à ces activités. Ainsi, grâce à des réactions couplées et artificielles d'oxydoréduction (procédé Haber-Bosch), lequel produit du CO_2 dans l'atmosphère, il est possible de réduire l'azote de l'air en ammoniac, lequel est transformé en engrais (nitrate d'ammonium). Ces engrais sont utilisés à très grande échelle, doublant le volume de l'azote fixé dans le sol puis dans les plantes et/ou les bactéries. Via ce procédé producteur de CO_2 , le cycle de l'azote est ainsi transformé. Cette transformation est quasiment sans incidence sur la composition atmosphérique, la concentration de l'azote dans l'air étant très importante.

En revanche, le cycle de l'azote dans le cadre de la biosphère, connaît un doublement des apports annuels en azote réduit qui entre dans la composition de la biomasse planétaire (spécifiquement en protéines). Comme une partie des engrais chimiques (N, P) n'est pas absorbée par les plantes et ruisselle, cela perturbe profondément la composition chimique des milieux (nitrates et phosphates dans l'eau) et en conséquence les répartitions des espèces, les bactéries et unicellulaires simples étant ceux qui en profitent immédiatement et prolifèrent en abaissant le taux d'oxygène dans les eaux, ce qui fait disparaître les espèces comme les salmonidés. En outre, une partie de l'azote, provenant plus particulièrement des effluents d'élevage, se volatilise dans l'air, lors des épandages, sous forme d'ammoniac (NH_3), lequel participe à l'acidification des milieux, ou de protoxyde d'azote (N_2O), puissant gaz à effet de serre.

La figure 1 montre aussi que, parallèlement, le cycle du phosphore est largement impacté, dans la biosphère, par l'usage des phosphates minéraux extraits de mines, ici encore surtout pour l'activité agricole, mais aussi pour la production d'acide phosphorique utilisé dans l'alimentation et dans les cosmétiques ou encore l'électronique. L'augmentation de l'azote et du phosphore dans la biosphère résulte donc d'une hausse de la production agricole associée à une ponction considérable du genre humain pour son alimentation, à hauteur de 25 % de la production de biomasse végétale

totale annuelle (HANPP, ou appropriation humaine de la production primaire, Erb *et al.* 2009) et à une pollution des milieux. Les conséquences immédiatement visibles sont par exemple l'eutrophisation des lacs ou la prolifération d'algues (algues vertes en Bretagne). Il est à ce jour difficile d'évaluer l'impact de tels changements à un niveau global, mais cela joue nécessairement sur la composition de la biodiversité, étant donné l'ampleur du phénomène à l'échelle de la biosphère en si peu de temps.

L'impact des activités humaines sur la biosphère est ainsi considérable et dépasse la seule émission de gaz à effet de serre. La production d'artefacts humains croît de manière exponentielle, profitant de l'utilisation de plus en plus massive des énergies fossiles. Estimées en masse, les productions humaines ont d'ores et déjà dépassé l'ensemble de la biomasse sèche dès 2021 et devraient dépasser la biomasse humide, si la croissance se poursuit, entre 2031 et 2037 (Elhacham *et al.* 2020).

L'effet sur l'ensemble du système de ces modifications de cycles a des effets délétères, tout particulièrement le CO₂ et les autres gaz à effet de serre (protoxyde azote, méthane, chlorofluorocarbures), pour l'activité humaine. L'effet le plus inquiétant est celui du CO₂ et des autres gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, car cela accentue ce qu'il est convenu d'appeler le « forçage radiatif », c'est-à-dire la conservation de l'énergie venue du soleil grâce à l'atmosphère, selon un processus complexe (Dufresne & Treiner 2011). C'est un changement climatique très rapide qui se met en place : d'un côté un échauffement moyen, et de l'autre un réchauffement différencié ; le nord se réchauffe plus vite que le sud et les continents plus vite que les océans. En conséquence, la variabilité climatique va s'accroître, ce qui pose un problème aux populations désormais dépendantes pour leur alimentation de l'agriculture (Boqueho 2012, Le Treut 2022a, 2022b). Le recyclage des déchets et le traitement des eaux usées qui évitent ou ralentissent les effets de pollution sur la biosphère (dont les composés azotés et phosphorés) sont largement tributaires de l'énergie disponible d'origine fossile et accentuent encore l'amplification du forçage radiatif. La température de l'atmosphère et de la surface des continents va continuer à croître.

Ce tableau global attire l'attention sur deux dimensions de la soutenabilité de l'activité technique actuelle. D'une part, la pro-

duction matérielle d'artefacts dépasse désormais ce qui provient du vivant (Elhacham 2020). Jusqu'où peut aller cette production, sans entraîner de modifications imprévisibles? Parallèlement, la combustion des énergies fossiles, largement utilisée pour la fabrication, le fonctionnement, l'entretien et le recyclage de ces artefacts apparaît comme une anomalie au plan purement physique, qui conduit à des puissances utilisées inconnues du monde vivant depuis les origines et insoutenables sur la durée, par consommation des stocks accessibles.

3] La spécificité d'une « planète vivante »

Ces cycles biogéochimiques à l'échelle de la planète sont le résultat d'une histoire singulière, avec ses points de bifurcation et ses moments de contingence. L'idéologie actuellement en vogue dans la Silicon Valley, qui considère que l'enjeu technique crucial à long terme pour l'humanité serait de devenir « une espèce multiplanétaire » par la colonisation spatiale, s'inscrit directement en faux contre la dépendance que nous venons d'illustrer aux conditions biochimiques de notre planète. La science-fiction, sous la forme du « *planet opera* », nous a habitués à de tels scénarios où l'humanité technicienne s'extrait de la Terre. Avec pour conséquence que la condition de planétarité n'est pas suffisamment prise au sérieux : peut-on vraiment penser une espèce humaine qui ne soit pas rattachée à la Terre? La technique peut-elle arracher l'humanité aux grands flux de matière et d'énergie qui bornent sa condition terrestre? C'est bien la question posée par le film *Moon* de Jones Duncan (2009).

Ce modèle si puissant de la colonisation spatiale mobilise l'imaginaire actif d'une technique qui aurait rompu la dépendance à ses milieux, soit qu'on l'imagine autosuffisante, soit capable de les reconstituer par des processus comme la terraformation. À l'inverse, ces scénarios nous obligent à réfléchir aux spécificités d'une planète vivante.

Pour transformer l'humanité, strictement terrestre, en espèce multiplanétaire, la solution la plus simple serait, en effet, de trouver d'autres planètes aux conditions accueillantes. Les astrophysiciens travaillent depuis plus de quinze ans au concept d'habitabilité des exoplanètes, à la recherche de celles qui pourraient être vivables (Seager 2013, McIntre *et al.* 2019, Li *et al.* 2021).

Pour avoir de la vie, sur une planète quelconque d'un système stellaire quelconque dans une galaxie quelconque d'un amas de galaxies quelconque faisant partie de l'univers accessible par nos outils de détection, l'une des conditions est qu'il faut que la planète contienne une quantité suffisante d'eau, sous forme liquide, pour permettre l'émergence du vivant, c'est-à-dire à une température située entre 0 °C (273,15 K) et 100 °C (373,15 K), dans les conditions de pression d'une atmosphère terrestre. En des lieux terrestres spécifiques, on pourrait trouver de l'eau à des températures nettement inférieures (de l'ordre de 200 K sur Terre) ou supérieures (plus de 500 K), mais cela reste très local : près des pôles en hivers pour le premier exemple, et en contact de volcans pour le deuxième exemple.

De fait, sur la planète Terre, l'eau ne représente que 230 ppm de la masse totale de la planète et se concentre en une fine couche irrégulière sur sa surface. Au moins 97,5 % de cette eau est à une température comprise entre 280 K et 310 K et dans ces conditions sous forme liquide et contenant des sels. L'eau douce, au maximum 2,5 % du total, est concentrée – pour le moment – sous forme essentiellement solide (glace) pour 99,7 % de sa totalité, soit à une température inférieure à 273 K, d'abord en Antarctique, puis au Groenland, et enfin dans tous les glaciers de montagne ou sur régions côtières de l'océan Arctique. L'eau répartie dans l'atmosphère ne représente au total que de l'ordre de 370 ppm de toute l'eau douce, mais elle est indispensable pour la circulation de l'eau dans la biosphère (Theophilus *et al.* 2018, Seager 2013). Cela montre, une fois de plus, qu'une faible proportion d'un élément ou qu'un faible changement relatif de la proportion des répartitions de cet élément peut modifier considérablement l'ensemble du système.

Un autre point crucial est aussi de disposer d'un noyau métallique spécifique permettant des mouvements de convection du «noyau externe» constitué de métal liquide (fer et nickel). Il produit le champ magnétique terrestre stabilisé depuis 3,2 milliards d'années, lequel joue un rôle essentiel dans le développement de la vie sur Terre, en déviant les particules mortelles du vent solaire (McIntyre *et al.* 2019).

Ces données ne sont pas anodines : une telle configuration ne peut avoir lieu que selon des contraintes nombreuses qui raréfient ses possibilités. Une planète trop froide n'aura pas d'eau liquide, une

planète trop chaude perdra son eau par diffusion dans l'atmosphère puis dans l'espace, une planète trop petite ne pourra garder l'eau, une planète trop grosse pourrait n'avoir aucun cycle d'eau à travers l'atmosphère (pluie). Une planète sans noyau métallique dont la partie externe génère un champ magnétique sera peu propice à la vie (Mars par exemple). Il faut ajouter la nécessité d'une atmosphère qui permettra à la fois une relative stabilité des températures grâce aux fameux effets de serre, et tout un ensemble de cycles (azote, oxygène, carbone, etc.) pour que le vivant puisse vivre, c'est-à-dire naître, se nourrir, se reproduire, mourir. Là aussi ce ne sont pas des critères anodins, et la possibilité d'une atmosphère convenant à la vie actuelle conduit à définir de nouvelles contraintes (Rocetti *et al.* 2023).

En ajoutant quelques autres contraintes relevant plus directement de la physique, mais contribuant à ce que les astronomes nomment «l'habitabilité» de la planète – c'est-à-dire la possibilité de présence de vie, on arrive rapidement à la conclusion que le taux de planètes «habitables» paraît finalement très faible. Une planète vivante est une sorte de concours de circonstances qui conduit à reconnaître son unicité, et la faible probabilité d'en trouver une autre à une distance accessible. De plus une autre planète vivante sera différente, étant donné les contingences multiples de l'histoire du vivant.

Une définition très globale du vivant serait : un ensemble de processus planétaires traversé par des flux d'énergie et des circulations de matériaux, comprenant une (bio)chimie du carbone qui produit des entités à mémoire se reproduisant et évoluant de manière darwinienne, et des minéraux qui participent à la géobiophysique de la planète vivante. Le vivant devient la biosphère terrestre (Vernadsky 1926) puisque la géologie nous apprend que la composition de l'atmosphère a coévolué avec le vivant. La biosphère terrestre forme le seul écosystème connu à ce jour auquel tous les organismes (entités à mémoire qui se reproduisent) participent dans la durée de leur existence.

Les astronomes genevois Michel Mayor et Didier Queloz, qui travaillaient à l'Observatoire de Haute-Provence (OBH), ont annoncé, lors d'une conférence scientifique à Florence, la découverte d'une première exoplanète le 6 octobre 1995, dans la constellation du Pégase située à une cinquantaine d'années-lumière de la Terre, et

inhabitable. *51 Pegasi b*, c'est son nom, tourne en un peu plus de quatre jours terrestres autour de son étoile, dont elle n'est séparée que de 7,5 millions de kilomètres, à comparer aux 58 millions de kilomètres séparant Mercure du Soleil (la planète la plus proche du Soleil). La température à la surface de cette planète gazeuse, d'une nature et d'une taille comparables à celles de Jupiter, est d'un millier de degrés Celsius. Depuis, la découverte de nouvelles exoplanètes suit une courbe exponentielle : 5 225 exoplanètes identifiées le 9 décembre 2022 – vingt-cinq de plus en six semaines - et 5 346 en fin mars 2023 soit une nouvelle tous les 2,6 jours (5 362 au 14 avril 2023) ; 313 d'entre elles ont une masse inférieure à 8 masses terrestres et sont probablement telluriques avec peut-être une atmosphère. Elles sont donc susceptibles d'être étudiées selon les critères qui définiraient une « habitabilité », c'est-à-dire l'existence d'une biosphère. Étant donné leur éloignement (des dizaines d'années-lumière), sortir de la Terre pour aller ailleurs est un défi difficilement concevable à ce jour.

Quitter la planète est une autre affaire que changer d'habitat. Vouloir « habiter » ailleurs supposerait de trouver un lieu autonome ne dépendant pas d'apport substantiel apporté de notre planète, et de savoir déterminer les conditions minimales qui constitueraient un tel lieu. S'il faut reconstituer une « Terre » complète, cela signifie que la Terre n'est pas, au sens écologique et humain, notre habitat/milieu. Elle devient l'environnement minimal dans lequel nous construisons nos habitats/milieus. Or ceci nécessiterait des ressources diverses venues de cet environnement, de cet écosystème, de cette biosphère qu'est le système Terre. Pour habiter une autre planète, il nous faudrait reconstituer des conditions semblables à celle de la Terre. Il nous faut une biosphère (Vernadsky 1926) ou une base vivante microscopique (Margulis & Sagan 1986, Gould 1996) ou une Gaïa (Lovelock 1972), pour simplement disposer des ressources vivantes dont nous avons besoin pour vivre humainement.

Plutôt que de fantasmer la terraformation, dont nous venons de voir l'historicité et l'extrême complexité, il devient urgent de définir dans quelles conditions nous pourrions continuer à « habiter la Terre » de manière durable (**encadré 2**). En effet, la recherche des contraintes d'une « terraformation » revient à compléter la liste du point 3 ci-dessus, sachant qu'il nous manque encore des données,

et probablement conclure à une planète proche de la nôtre (voir le début de ce chapitre). Quelles interactions entre nos besoins énergétiques, hydriques, métalliques, organiques, et les ressources correspondantes disponibles ? Comment le penser dans la durabilité, ce qui ne veut pas dire dans la stabilité ?

Encadré 2. Sommes-nous les habitants de la Terre ?

La notion même d'habitabilité mérite discussion, car la distinction et le jeu entre les concepts d'habitat, d'habitation, de milieu et d'environnement relèvent de différentes approches disciplinaires, ce qui peut créer une forme de confusion. On peut dire que nous sommes tous des Terrestres comme le propose Bruno Latour (2021), par analogie avec la manière communément utilisée par tout un chacun pour donner son adresse, lorsqu'on dit qu'on habite à Lyon, en France ou en Europe. Mais le vocable utilisé ainsi suggère qu'il est possible d'habiter ailleurs ; chaque jour des centaines de milliers d'humains changent d'habitat. La Terre est-elle, en ce sens, un habitat ?

Durant le confinement lors de la pandémie Covid-19, nous avons vécu ce qu'était de ne pouvoir quitter son habitation. C'est d'ailleurs à partir de cette expérience que Bruno Latour s'est posé la question « où j'habite ? ». Nous sommes confinés sur Terre, mais ce confinement est bien différent de celui d'une habitation dont on pourrait finir par sortir, ce qui est quand même la condition la plus courante de l'habitation. La condition d'habiter la Terre correspond à un confinement quasi absolu et permanent.

Il a été réalisé d'envoyer quelques personnes dans une station spatiale internationale, mais cette possibilité de les laisser y vivre a toujours exigé des apports permanents venus de la Terre. Et l'expérience de Biosphère 2, décrite au chapitre 1, a montré que nous ne savons pas comment définir un système habitable autonome.

Il nous paraît important de maintenir une distinction entre habitat et milieu et de résister à une extension métaphorique tous azimuts du premier terme. C'est qu'il y a une réalité et une spécificité de l'habitat à penser en lien avec les milieux. On entend donc ici l'habitat, comme le lieu de vie, dont l'humain peut changer, c'est-à-dire se détacher momentanément, et qu'il peut reconstruire tandis qu'une séparation du milieu est impossible et que tout habitat s'arrange avec et dans le milieu. Il faut donc distinguer l'habitat – d'un individu ou d'un collectif d'individus comme, par exemple la fourmière, habitat d'une colonie de fourmis, ou le village habitat humain

créé par un groupe humain – de son milieu qui rassemble tout ce dont elle a besoin pour vivre et qui dépasse largement l’habitat. Une famille humaine habite dans une maison, une communauté dans un village ou une ville, mais le milieu rassemble tout ce dont familles ou communautés ont besoin pour vivre, chacune à leur niveau. En ce sens, il est évident qu’aucune espèce vivante ne peut considérer la Terre comme son habitat. D’abord, elle n’habite généralement qu’une toute petite partie de la planète, et dans le cas où elle serait quasi universelle, c’est-à-dire présente partout, elle ne prendrait qu’une place infime. Et dans tous les cas, son habitat peut être analysé comme partie intégrée d’un milieu plus large ; en conséquence, la notion d’habitat est liée à une vision environnementaliste, et elle est utilisée spécifiquement en écologie (cf. **encadré 3**). Pour déménager, l’espèce devrait-elle emporter son habitat ou bien l’écosystème entier, ou encore une fraction de cet écosystème ? À ce jour, il est important de constater qu’aucune expérience n’a réussi à créer un habitat complètement isolé durable, autrement dit un habitat qui se subsume au milieu. L’échec du projet Biosphère 2 (1987-1994), (voir le **chapitre 1**) prévu comme projet expérimental pour étudier la possibilité de vivre à la surface de Mars, a permis de montrer la difficulté de maîtriser un véritable écosystème auto régulé, même sur 1,27 ha, sachant que plus la surface est petite plus l’échec est certain.

L’habitat humain doit s’analyser sous l’angle écologique. De fait l’espèce humaine a cette caractéristique qu’elle reconstruit partiellement son habitat dans le milieu où il s’insère. Un village de pierre et lauze en Savoie est bien différent d’un village scandinave fait de maisons en bois au bord d’un fjord, d’un groupe de yourtes mongoles, d’un ensemble d’igloos inuit, ou d’un ensemble d’immeubles d’un centre de mégapole. On sait que les contraintes liées au relief, à l’ensoleillement, à l’eau disponible, conduisent à des maisons différentes, mais cela dans le cadre global du terrestre. De fait les migrations ou déplacements progressifs historiques, depuis 40 000 ans, montrent que les humains changent d’habitat et les transforment en fonction des conditions. Ainsi, il y a de nombreux habitats humains, sur la planète, sans que celle-ci puisse être considérée comme un habitat unique étant donné les différences considérables des milieux et habitats considérés.

La planète est un écosystème, la biosphère, le plus vaste connu, dans lequel de nombreux habitats ou milieux humains sont pos-

sibles. Finalement l'approche écologique montre la possibilité de relier le système terre aux milieux qui le composent et souligne ce qui dans le système terre a trait au milieu. Finalement, la compréhension du système Terre ne peut se passer du concept de milieu, et l'usage des termes écologiques demande de la prudence (**encadré 3**).

C'est grâce à la technique que les humains peuvent habiter presque dans tous les milieux, à toutes les latitudes, moyennant des catastrophes difficiles à prévoir, comme au bord d'océans soumis à des tsunamis, sur les flancs d'un volcan quand il entre en éruption, sur des zones sismiques quand a lieu un tremblement de terre, ou dans des lieux traversés par des typhons, des inondations ou des ouragans, des déserts soumis à des vents de sable, des zones arctiques, etc. C'est uniquement sous l'eau, à ce jour, que les humains n'habitent jamais, même s'ils peuvent y séjourner un temps très court, car ils ont besoin de l'atmosphère pour y respirer quasi continûment. L'adaptabilité des humains vient de leur expertise technique qui leur permet de constituer des habitats/milieux dans des milieux écologiques très différents en créant et en utilisant des techniques différentes qu'ils ont adaptées à chaque condition, sans pour autant être adaptables ailleurs.

Encadré 3. L'usage des termes en contexte de la science écologique

En écologie, écosystème, habitat et milieu se définissent en interaction selon des points de vue différents et à des niveaux différents, ce qui peut, pour notre analyse, porter à confusion.

L'écosystème désigne une unité de la nature, dans laquelle les êtres vivants interagissent entre eux et avec leur habitat. Il peut s'appliquer à de nombreuses échelles, de l'étang à la Terre. Les composants de l'écosystème entretiennent entre eux des réseaux de dépendances, d'échanges d'énergie, d'information et de matière permettant le maintien et le développement des vivants de l'écosystème. Les zones de transition entre deux écosystèmes sont appelées écotones.

Le concept d'habitat, selon l'écologie, est le « milieu » où une population d'individus d'une espèce donnée ou d'un groupe d'espèces peuvent normalement vivre et s'épanouir. La population peut être très petite ou très grande. Ce « milieu » est formé des facteurs écologiques qui offrent les ressources suffisantes pour permettre à cette population de vivre et se reproduire.

Le milieu est la partie du monde avec laquelle un organisme vivant est en contact. C'est lui qui détermine les réactions, les adaptations physiologiques, voire morphologiques de l'organisme. Il est, en retour, modifié, transformé, façonné par ce contact avec le vivant. L'organisme et son milieu constituent le binôme de base de l'écologie. Il est donc a priori plus vaste que l'habitat.

Synthèse selon Odum & Barrett (1971). Voir **chapitre 11** – Pour aller plus loin.

4] La tentation de la géo-ingénierie

La lecture que nous proposons des sciences du système Terre nous ramène aux propriétés des milieux : l'élargissement des échelles, la relation de constitution mutuelle entre le vivant et la planète, l'irréductible historicité qui en découle, la réflexivité qu'elle implique. Mais qu'en est-il de la question des normes et des valeurs ? Si l'exemple de la colonisation spatiale avec son imaginaire d'une humanité détachée des conditions du terrestre illustre l'oubli de la relation constituante entre la planète et le vivant, le cas de la géo-ingénierie est encore une autre manière d'aborder les impasses auxquelles nous mène l'oubli du milieu, ici sous la forme de l'illusion de faire l'économie des valeurs au profit d'un pilotage technoscientifique de la biosphère.

Les sciences du système Terre nous offrent une description objective des flux de matière et d'énergie. Pourquoi ce savoir ne pourrait-il pas nous permettre de piloter de manière optimale ces flux, en connaissance de cause ? Nous accomplirions alors le vieux rêve de nous rendre « comme maîtres et possesseurs de la nature », en allant bien au-delà des progrès de la médecine que visait à l'origine la formule de Descartes pour prendre les commandes du « vaisseau spatial Terre ». De fait, une telle ambition est aisée à trouver dans les sciences de la biosphère. L'une des illustrations parmi les plus frappantes de cette promesse de maîtrise peut se retrouver dans la courte nouvelle de science-fiction que publie le géophysicien russe Boris Veinberg dans la revue *Sibirskaja Priroda* (*Nature sibérienne*) en 1922 et cité par Daniela Russ (2022). Veinberg imagine un futur éloigné, en l'an 22300, dans lequel l'humanité aurait totalement remodelé la biosphère. Dans le futur de Veinberg, les gouvernements régionaux ont disparu et l'humanité a adopté un gouvernement

mondial sous l'égide de la science. Non seulement, l'anomalie des carburants fossiles a depuis longtemps été résorbée au profit des énergies renouvelables, à commencer par le solaire, mais le Comité pour l'amélioration du globe terrestre mène des projets d'ampleur gigantesque, sur la très longue durée. Ainsi, pour réguler le climat et ne plus être soumis à des changements chaotiques, le comité a décidé de concentrer les océans de la planète en deux réservoirs, aux pôles. Ce projet est planifié sur 8 000 ans.

Évidemment, il s'agit d'une nouvelle de science-fiction, dans le contexte de la mise en place de l'Union soviétique, où tout apparaît amplifié. Mais il ne serait pas difficile de trouver des échos à un tel discours scientifique dans les débats contemporains. Si la perspective de remplacer les politiques par les ingénieurs, ou «le gouvernement des hommes par l'administration des choses», pour reprendre une formule issue du XVIII^e siècle faussement attribuée à Saint-Simon – car il la critique –, n'est pas neuve, elle connaît cependant un regain d'intérêt dans le contexte de la crise climatique et l'incapacité des politiques à entendre la science. Pour autant, elle repose sur une illusion particulièrement dangereuse que les projets concrets de géo-ingénierie illustrent sur une échelle plus resserrée : les modèles dont nous disposons n'offrent aucune méthode pour gérer un système que l'on ne connaît pas complètement et dans lequel l'activité humaine est incluse. Le coût énergétique de la géo-ingénierie risque de modifier globalement le système dans une direction non souhaitable, car toutes les conséquences sont inconnues. Elle se heurte aussi aux limites des stocks finis.

La récente polémique suite aux actions de la startup Make Sunsets qui a utilisé des ballons météorologiques pour relâcher du soufre dans l'atmosphère dans le nord du Mexique est emblématique (Clifford 2023). Non seulement l'initiative manquait à toutes les demandes les plus élémentaires de l'activité scientifique, sans accord préalable, sans instrument de mesure, ni a fortiori de données publiées, mais elle illustre le caractère incomplet des savoirs en la matière. La perspective d'une géo-ingénierie solaire est depuis longtemps évoquée. Paul Crutzen, le promoteur même du terme d'Anthropocène, a proposé le principe d'injection de soufre pour refroidir le climat en augmentant la réflexion du rayonnement solaire (Crutzen 2006). D'autres proposent de satelliser à quelques

centaines de kilomètres d'altitude des poussières diminuant de 1 à 2 % la radiance solaire... Mais les incertitudes sont considérables : la modification des températures modifie toute la dynamique atmosphérique avec un impact direct sur la répartition des précipitations ; l'injection de soufre revient à produire une sorte d'éruption volcanique artificielle permanente avec des coûts énormes et un risque de réchauffement très rapide dès l'arrêt de l'entreprise. En l'état actuel des connaissances, rien ne permet de prévoir les effets qu'entraîneraient de telles opérations à grande échelle. Plusieurs centaines de scientifiques, spécialistes du climat, ont signé en 2022 une lettre ouverte réclamant un accord international de non-utilisation de la géo-ingénierie solaire (Biermann *et al.* 2021). Ils mobilisent trois arguments principaux : l'incertitude scientifique, l'incapacité à construire une gouvernance mondiale pour ces technologies et l'incitation négative contre les politiques de décarbonation fondées sur des espoirs purement spéculatifs.

Le cas récent de l'éruption du volcan Hunga Tong, en janvier 2022, offre un exemple de géo-ingénierie naturelle de grande ampleur qui illustre remarquablement bien le caractère hautement imprévisible des phénomènes concernés. L'éruption de ce volcan sous-marin est la plus importante depuis l'éruption du Pinatubo en 1991 et constitue « l'événement climatique naturel le plus remarquable des trois dernières décennies. » L'éruption a éjecté une quantité considérable d'aérosols et de vapeur d'eau dans l'atmosphère... produisant un effet inverse de celui qui était attendu. L'injection de soufre gazeux conduit habituellement à un refroidissement.

L'éruption du Krakatoa en 1883, d'ampleur similaire, a en revanche provoqué un « hiver volcanique » et une baisse des températures d'un demi-degré. Celle du Tambora, à Java, en 1815 a eu des conséquences sociales et politiques importantes (D'Arcy Wood 2016). Celle du volcan Lakagígaren en Islande, le 8 juin 1783, provoqua en Islande la plus grave catastrophe avec un effondrement de la population de 20 %. Cette éruption engendra un épais brouillard qui se répandit à travers l'Europe, provoquant l'hiver 1783-1784 d'une rigueur inédite en France et l'année 1785 fut marquée par des pluies diluviennes. Emmanuel Garnier (2009) estime que cette situation a participé aux conditions favorisant la Révolution française.

À l'inverse, l'éruption du Hunga Tonga a provoqué un réchauffement : non seulement le soufre relâché est resté moins longtemps dans l'atmosphère s'oxydant du fait de la vapeur d'eau, mais celle-ci a aussi produit un effet réchauffant supérieur à l'effet refroidissant des aérosols liés au soufre. Mais certains phénomènes demeurent encore inexplicables :

La vapeur d'eau injectée a un effet de serre global, mais, localement, elle tend à refroidir la stratosphère par l'émission infrarouge. Cela a légèrement modifié la circulation et l'équilibre photochimiques dans la stratosphère. Il pourrait y avoir des effets locaux, comme l'intensification des sécheresses en zone de mousson, mais ces mécanismes ne sont pas bien compris. Les conséquences sur la couche d'ozone ne sont pas non plus très claires, d'autant que les aérosols émis par l'éruption perturbent les mesures. Nous pourrions faire de meilleures observations au printemps, puis à l'hiver prochain (Koppe 2023).

Si le risque, en l'état actuel des connaissances, serait de jouer aux apprentis-sorciers, sans possibilité de maîtriser les effets de nos actions, nous pourrions néanmoins nous projeter dans la perspective d'une connaissance plus complète et plus fine qui pourrait pallier ce risque, or il y a très peu de chance que ce soit possible pour de nombreuses raisons (Guespin-Michel & Ripoll 2000), dont nous explicitons ci-après trois principales.

- La première est technicoscientifique. Tout ingénieur travaillant sur la scalabilité d'un essai pilote pour le passage à grande échelle industrielle, même en supposant une linéarité mathématique, sait qu'il ne faut pas un changement d'échelle trop important. Autrement dit, il faut toujours à partir des essais en laboratoire passer à un pilote de taille suffisante pour que les constantes propres à la résolution des équations différentielles soient trouvées.
- La deuxième raison provient de la nécessaire pluridisciplinarité, incluant les sciences du vivant, dans le cadre de l'étude de l'évolution de la biosphère. Il s'agit de la non-linéarité des modèles mathématiques nécessaires pour traiter les problèmes propres au vivant. Les difficultés pour introduire ces formalismes relèvent à la fois du fait que les biologistes sont rarement des mathématiciens et les mathématiciens et

physiciens ne connaissent pas la biologie, donc d'obstacles scientifiques, mais probablement davantage d'obstacles épistémologiques liés à la notion de déterminisme. La physique dispose d'un vaste éventail de cadres théoriques explicites ce dont ne disposent pas les sciences du vivant. La complexité des sciences du vivant est telle qu'elle favorise des raisonnements inductifs peu favorables à une formalisation mathématique. La plus prestigieuse, la théorie de l'évolution, est peu utilisée sauf dans le cercle restreint des biologistes de l'évolution, ou n'est utilisée que pour expliquer a posteriori les découvertes. Les autres théories disposent rarement de cadre explicite mathématiquement parlant et ce d'autant qu'il s'agit d'intégrer des organismes complexes. Une formation épistémologique devient nécessaire que très peu de biologistes ont acquise.

- La troisième raison vient des sciences du vivant et des différents niveaux d'études qui s'organisent du réductionnisme le plus accentué (biologie moléculaire) au globalisme généralisé (organisme, écosystème, populations), dans une optique synchronique ou évolutive. Même si elles disposent de méthodologies faisant appel à des méthodes statistiques et de modélisation mathématique sophistiquées, des différences d'attitudes épistémologiques et philosophiques très importantes accentuent les écarts entre les tenants des deux pôles.

On peut aussi rappeler le concept d'émergence selon les échelles et les disciplines, que Robert Laughlin, prix Nobel de physique, a vulgarisé dans *Un univers différent* (2005). Mais aussi, en dernier lieu, émerge une autre limite indépassable : il n'y a pas de calcul possible qui intègre les conditions de notre action et ne requiert des choix d'ordre politique et éthique. Il n'est pas possible de les éliminer des modèles, si bien que la perspective du pilotage technocratique apparaît au mieux comme une illusion dangereuse, au pire comme le masque de choix politiques dissimulés plutôt que débattus de manière scientifique et démocratique (Lund *et al.* 2017). L'intégration de ces conditions d'ordre politique est d'ailleurs généralement négligée par les scientifiques des sciences de la matière, un peu moins dans certaines sciences du vivant, mais devient essentielle pour les ingénieurs qui sont, de fait, dans l'action collective.

En conclusion, l'optimisation s'oppose à la démocratie en rendant invisibles ces choix politiques.

Prenons l'exemple de l'équation dite de Kaya (Kaya & Yokobori 1997), telle que décrite ci-après :

$$\text{GES} = (\text{GES/TEP}) \times (\text{TEP/PIB}) \times (\text{PIB/POP}) \times \text{POP}.$$

C'est-à-dire que l'émission de Gaz à Effet de Serre (GES) est égale au Contenu en gaz à effet de serre de l'énergie consommée (TEP = Tonne Équivalent Pétrole), multipliée par l'intensité énergétique de l'économie (TEP/PIB (Produit Intérieur Brut)), multipliée par la valeur de la production par personne (PIB/POP (Population)), multipliée par la Population.

Elle est appliquée à la production de gaz à effet de serre, et pourrait l'être à l'empreinte écologique (Boutaud & Gondran 2018) ou à toute forme d'impact quantifiable sur l'écosystème. La formule permet de rendre compte de l'effet d'une nouvelle technique, ou d'un nouveau produit, sur l'écosystème planétaire. Suffit-il de l'appliquer pour avoir, clé en main, la solution au problème de l'impact de nos choix technologiques ? Nous nous heurtons à deux limites. Tout d'abord, il est manifeste que cette équation ne permet pas de prévoir des évolutions. L'absence de prévision déterministe ne la rend pas pour autant inutile : elle donne une indication des possibles conséquences du lancement d'un nouveau produit. Et en particulier, elle peut, pour une population donnée, définir des ordres de grandeur à ne pas dépasser pour la production de nouveaux artefacts, sauf à entraîner des modifications systémiques fortes. Son usage n'est pas déterminant, mais il aide à se positionner et à orienter l'action.

Cette équation, qui est de fait très simple et compréhensible par tout ingénieur concepteur, pose néanmoins un problème. Elle exige de mettre une variable économique (PIB), qui prend la monnaie comme référent (la monnaie étant une technique au service du politique), alors que la physique prend les flux d'énergie (Watt, Joule) comme référent. Si on enlève cette variable économique, elle perd tout intérêt, car il faut alors aussi enlever la variable « population » et l'équation devient une tautologie. Les variables économiques fondées politiquement deviennent indispensables pour l'ingénieur concepteur qui agit, de fait, dans le champ économique. Une technique peut être soutenable à une petite échelle et totalement insoutenable généralisée à l'ensemble de la population. C'est possiblement

le cas du véhicule électrique dont les ressources nécessaires pour sa fabrication sont telles que le simple remplacement des voitures actuelles sera impossible. Qui décidera alors de ceux qui peuvent ou non l'utiliser ? Il existe donc des « gaps », des ruptures, entre savoir, prescription et ingénierie. Nous sommes là au cœur d'un problème insurmontable qui conduit à reconnaître la nécessité du politique qui doit intégrer ces oppositions, et cela bien avant toute décision beaucoup plus complexe de type géo-ingénierie.

Que tout ne soit pas calculable ne doit pas nous pousser à l'impuissance ou à la résignation. La responsabilité du concepteur demeure entière, alors même qu'il ne peut pas tout prévoir. Mais la rationalité ne se réduit pas à la rationalité calculatoire et il existe d'autres formes de rationalité, délibérative, prudentielle, dont le concepteur ne peut jamais faire l'économie. Tel est l'un des préceptes les plus fondamentaux de la conception orientée milieu. Le retrouver à l'intérieur de la perspective du physicien n'est pas une petite surprise. Là où l'ingénierie a pu se définir pendant longtemps comme science appliquée, c'est-à-dire physique appliquée, même la physique, si on la suit jusqu'au bout, le reconduit aux milieux et à la question des normes. Le quotidien de l'ingénieur est fait de compromis, à commencer par l'articulation entre le technique et l'économique.

4] Conclusion

Les analyses de ce chapitre n'offrent pas de solution clé à la question de la soutenabilité. Ce qui serait une mystification. Elles fournissent en revanche une idée globale régulatrice pour guider la réflexion, à travers l'idée d'une condition planétaire. Elles offrent une ouverture vers une idée régulatrice mais non déterminante : ne jamais perdre de vue le système-Terre.

La prudence conduit ici aux deux maximes suivantes :

Conçois un nouveau produit de telle sorte qu'il permette, par unité produite et en quantité globale de produits utilisés, de consommer moins de ressources en matière et en puissance (énergie) que ce qu'il remplace et/ou améliore.

Conçois autant que possible un produit spécifique adapté à un milieu spécifique pour éviter une trop grande multiplication du produit selon des modalités imprévisibles.

Comment faire? C'est l'objet du **chapitre II**, «Techniques zombies et techniques vivantes».

Pour aller plus loin¹

KUMP L.R., KASTING J.F. & CRANE R.G. (2004), *The Earth System*, Prentice Hall.

Un des plus importants ouvrages pour aborder les questions de changement global du point de vue des systèmes terrestres réels. *The Earth System* offre une approche solide pour tirer des leçons de l'histoire de la Terre, qui pourraient guider les prises de décision à venir. Il est plus rigoureux et quantitatif que les livres traditionnels sur les sciences de la Terre, tout en restant accessible pour les non scientifiques.

LENTON T. (2016), *Earth System Science: A Very Short Introduction*, Oxford University Press.

Le concept de l'atmosphère terrestre, de la biosphère, des océans, du sol et des roches fonctionnant comme un système en interaction étroite, connu sous le nom de science du système terrestre, implique désormais des géographes, des géologues, des biologistes, des océanographes et des physiciens de l'atmosphère. Tim Lenton examine comment un monde dans lequel les humains ont évolué a été créé. Puis, comment, en tant qu'espèce, nous remodelons maintenant ce monde, et à quoi pourrait ressembler un avenir durable pour l'humanité au sein du système terrestre. S'appuyant sur des éléments de géologie, de biologie, de chimie, de physique et de mathématiques, Lenton nous conduit à penser que la science du système terrestre pourra nous aider sur une voie durable avant de vouloir trop modifier le système terrestre au risque de nous détruire nous-mêmes et nos civilisations actuelles.

SKINNER B.J. & PORTER S.C. (1995), *The Blue Planet: An Introduction to Earth System Science*, John Wiley.

C'est la troisième édition d'un texte innovant sur la science des systèmes terrestres. Il traite des sciences de la Terre d'un point de vue systémique, présentant les cinq sphères et leurs interdépendances. Agrémenté de photos et de figures aidant à une bonne compréhension

[1] *Ndé*: en français, une excellente synthèse: Muriel Gargaud & Guillaume Lecointre (dir.), *L'Évolution, de l'univers aux sociétés. Objets et concepts*, Éditions Matériologiques, 2015, chap. 6, «Planète Terre et système Terre», Hervé Martin, Jean-Pierre Bibring, Patrick De Wever, Muriel Gargaud, Emmanuelle Javaux, Valérie Masson-Delmotte, Daniele Luigi Pinti, p. 163-246.

du matériel présenté. De fait, c'est une sorte de cours solide de sciences des systèmes terrestres.

Bibliographie

- BIERMANN Frank *et al.* (2022), "Solar geoengineering: The case for an international non-use agreement", *WIREs ClimateChange*, 13(3), e754.
- BOUTAUD Aurélien & GONDRAN Natacha (2018), *L'empreinte écologique*, La Découverte.
- BOQUEHO Vincent (2012), *Les Civilisations à l'épreuve du climat*, Dunod.
- CANADEL Joseph G. *et al.* (2007), "Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks", *PNAS*, 10, p. 1073.
- CRUTZEN Paul Joseph (2006), "Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?", *Climatic Change* 77, p. 211-220.
- CLIFFORD Colin (2023), "After Mexican government cracked down on solar geoengineering, startup lets off balloons in Nevada", CNBC, Feb 22.
- D'ARCY WOOD Gillen (2016), *L'année sans été*, trad. fr. P. Pignarre, La Découverte.
- DUFRESNE Jean-Louis & TREINER Jacques (2011), «L'effet de serre atmosphérique : plus subtil qu'on ne le croit!», *La Météorologie* 8(72), p. 31.
- ELHACHAM Emily *et al.* (2020), "Global human-made mass exceeds all living biomass", *Nature*, 588(7838), p. 442-444.
- ERB Karl-Heinz *et al.* (2009), "Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption", *Ecological Economics* 69(2), p. 328-334.
- GARNIER Emmanuel (2009), *Les Dérangements du temps. 500 ans de chaud et de froid en Europe*, Plon.
- GOULD Stephen Jay (1996), *L'Éventail du vivant. Le mythe du progrès*, Seuil.
- GUESPIN-MICHEL Janine & RIPOLL Camille (2000), «La pluridisciplinarité dans les sciences de la vie : Un nouvel obstacle épistémologique, la non-linéarité», *Aster*, n° 30, *Rencontre entre les disciplines*, p. 87-104.
- GUILLAUME Bertrand (2014), "Vernadsky's philosophical legacy: A perspective from the Anthropocene", *The Anthropocene Review* 1(2), p. 137-146.
- HAECKEL Ernst (1866), *Gesammte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt*.
- KAYA Yoichi & YOKOBORI Keiichi (eds) (1997), *Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability*, United Nations University Press, p. 16-26.
- KOPPE M. (2023), «Un an après son éruption, les leçons du volcan Hunga Tonga», *CNRS Le Journal*, 12.01.2023.

- LATOUR Bruno (2015), *Face à Gaïa. Huit conférences sur le nouveau régime climatique*, Les empêcheurs de penser rond.
- LATOUR Bruno (2021), *Où suis-je? Leçons du confinement à l'usage des terrestres*, Les empêcheurs de penser rond.
- LAUGHLIN Robert (2005), *Un univers différent*, Fayard.
- LE TREUT Hervé (2022a), «Atténuation et adaptation : une course de vitesse face au temps», *Annales des Mines-Responsabilité et environnement* n° 2, p. 66-68.
- LE TREUT Hervé (2022b), *Climat et civilisation, un défi incontournable*, Érès.
- LI YITING *et al.* (2021), “Precise Masses and Orbits for Nine Radial-velocity Exoplanets”, *The Astronomical Journal* 162(6), p. 266.
- LOVELOCK James (1970), *La Terre est un être vivant. L'hypothèse Gaïa*, Flammarion
- LUND Henrik *et al.* (2017), “Simulation versus optimisation : theoretical positions in energy system modelling”, *Energies* 10(7), p. 840.
- MARGULIS Lynn & SAGAN Dorion (1986), *Microcosmos*, Wildproject.
- MAYOR Michel & QUELOZ Didier (1995), “A Jupiter-mass companion to a solar-type star”, *Nature*, 378(6555), p. 355-359.
- MCINTYRE Sarah, LINEWEAVER Charles & IRELAND Michael (2019), “Planetary magnetism as a parameter in exoplanet habitability”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485(3), p. 3999-4012.
- ROCETTI Giulia *et al.* (2023), “Presence of liquid water during the evolution of exomoons orbiting ejected free-floating planets”, *International Journal of Astrobiology*, p. 1-30.
- RUSS Daniela (2022), “‘Socialism is not just Built for a Hundred Years’: Renewable Energy and Planetary Thought in the Early Soviet Union (1917–1945)”, *Contemporary European History* 31, p. 491-508.
- SEAGER Sara (2013), “Exoplanet habitability”, *Science* 340(6132), p. 577-581.
- THEOPHILUS Abhijit *et al.* (2018), “A novel exoplanetary habitability score via particle swarm optimization of CES production functions”, in *2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, p. 2139-2147.
- VERNADSKY Vladimir (1926), trad. fr. *La Biosphère*, Seuil, 2020.

Historicité des trajectoires technologiques

Guillaume Carnino & Laurent Heyberger

L'histoire des techniques a longtemps été l'une des disciplines intellectuellement les plus simplificatrices (Hilaire-Pérez 2009) : largement pratiquée par les ingénieurs jusqu'au dernier quart du XX^e siècle¹, il s'agissait alors d'égrener les inventions phares de chaque époque, qui constituaient l'alpha et l'oméga de la grande marche du progrès. On pouvait ainsi tout à la fois soutenir que les techniques n'induisaient rien par elles-mêmes (car tout dépendrait de l'usage que l'on en fait), et pourtant considérer que, par l'entremise de quelques inventeurs de génie, le progrès nous aurait tiré des ténèbres d'un Moyen Âge sombre et crasseux. Dans une veine similaire, on imaginait que l'industrie avait pavé la voie de l'égalité par la diffusion du travail à la chaîne et des biens manufacturés, et que l'écologie était née en réaction aux récents excès de cette production de masse. L'informatique et l'intelligence artificielle pouvaient alors dessiner les contours d'un contrôle inédit des débordements contemporains. Le problème est que tout ceci n'est qu'une fable, historiquement fautive et idéologiquement motivée.

À partir de la fin des années 1980, l'historiographie des techniques a été progressivement et intégralement revisitée : l'agriculture néolithique n'est plus perçue comme une délivrance du fardeau de la chasse et de la cueillette, mais comme une construction politique et hiérarchique (Scott 2019) qui, à terme, en

[1] Avec les exceptions notables, en France, de Bertrand Gille, de Maurice Daumas et de Jean Gimpel.

vient à fonder la possibilité de nouvelles légitimités paysannes, et ce encore au Moyen Âge (Arnoux 2012) et jusqu'à nos jours (L'Atelier paysan 2021); l'artisanat n'est plus décrit comme un univers de routine sclérosé par la tradition, mais comme un monde traversé par de multiples dynamiques collectives d'invention (Hilaire-Pérez 2013); l'industrie n'est pas le décollage soudain de la production mécanique, mais un long processus d'intensification du travail, y compris manuel, et encore aujourd'hui (Caliste & Carnino 2022, Carnino & Marquet 2022); l'invention technique n'est plus du tout aussi centrale, à tel point qu'elle est bien souvent devenue une fausse question (Carnino 2014); la mécanisation n'est pas une libération de la pénibilité du travail, mais une domestication des rapports sociaux (Jarrige 2009); les débuts de l'industrialisation ne sont pas le lieu d'une inconscience écologique, mais plutôt le moment où l'on met sciemment à mal les anciennes sensibilités environnementales pour mieux polluer (Le Roux 2011, Jarrige & Le Roux 2017); la production de masse n'a pas inauguré l'ère de l'abondance industrielle, mais a engendré une pénurie consumériste structurelle (Baudrillard 1970) par le recours à des objets designés et spécialisés en amont (Werrett 2022); l'histoire de l'énergie n'est pas celle d'une substitution entre différentes sources ou formes d'énergie (mouvement de l'eau, charbon, pétrole, uranium, éolien, etc.), mais d'une addition (Fressoz 2021); aucun processus industriel n'a peut-être été aussi impactant matériellement et écologiquement dans l'histoire que le cloud numérique n'est en train de le devenir (Carnino & Marquet 2018); etc. La liste est trop longue pour être close ici et ce chapitre se propose simplement de mettre en avant quatre leçons d'importance que l'on peut tirer du foisonnement historiographique des dernières décennies.

On présentera donc les points suivants: 1. l'importance de la multicausalité en histoire, 2. l'impossibilité de réduire l'évolution technique à une succession d'inventions, à laquelle il faut substituer une analyse des cycles syncopés d'adaptation et d'exaptation, 3. l'industrie comme changement quantitatif aboutissant à une transformation qualitative, 4. l'efficacité sociale toujours relative et non absolue des techniques. L'ensemble de ces éléments dessine en creux un paysage où la vision démiurgique de l'humain créateur maître de ses productions, une fiction largement sédimentée par un

XIX^e siècle progressiste, ne tient plus : l'être humain n'a jamais été totalement maître de ses techniques ; s'il les développe à dessein, elles le structurent en retour.

1] L'importance de la multicausalité en histoire

Antidote salutaire au réductionnisme, l'historiographie a largement pluralisé les régimes de causalité dans l'explication historique. Les exemples sont si nombreux et font désormais partie intégrante des pratiques historiennes, à tel point que cet état de fait n'est presque jamais souligné. Deux exemples hydrauliques suffiront à montrer le type de geste théorique généralement privilégié.

Au Moyen Âge, la massification des moulins hydrauliques en Occident constitue une forme de stabilisation sociotechnique d'ampleur. Si le premier moulin à aube est mentionné dans la *Géographie* de Strabon au premier siècle de notre ère, il faut attendre les débuts du second millénaire pour que les roues hydrauliques se massifient dans le paysage d'Europe occidentale. Le médiéviste Jean Gimpel montre ainsi qu'il existe de multiples causes dans l'émergence de cette configuration historique (Gimpel 2002) : l'importation de nouvelles céréales nécessitant l'usage de lourdes meules et non plus de pilons à main, le développement des scieries mécanisées pour l'exploitation des forêts, la croissance de la demande en fer (et donc en soufflets de forge) dans le contexte des premières croisades, l'uniformisation technique au sein de l'ordre cistercien alors en plein essor, la grande urbanisation initiée à partir du XI^e siècle, l'émergence des premières formes d'actionnariat partagé aidant à la construction de dispositifs techniques conséquents et enfin le réchauffement climatique du XII^e siècle, amenant à l'augmentation des rendements céréaliers. Si cette énumération n'a pas vocation à être exhaustive, on peut y voir la matrice causale aboutissant à l'explosion du nombre de moulins urbains et périurbains au cours des trois premiers siècles du second millénaire. Même si des évolutions techniques viennent peu à peu modifier certains de ces dispositifs, les moulins hydrauliques restent au cœur de la production énergétique occidentale jusqu'à la fin du XIX^e siècle. On perçoit combien l'enjeu n'est pas l'invention d'une technique (puisque le principe en était connu depuis un millénaire au moins), mais bien son adaptation progressive au sein de formes de vie partagées, aboutissant à

une stabilisation des mondes humains en découlant : la géographie urbaine occidentale recouvre assez précisément la carte des cours d'eau.

D'autre part, les touristes actuels ignorent que les chutes du Niagara ne constituent pas le spectacle de la nature par excellence qu'ils imaginent (figure 1). Pourtant, le débit nocturne des chutes (50 000 pieds cubes/seconde) est artificiellement réduit de moitié par rapport au débit diurne (100 000 pc/s), qui lui-même est amputé de moitié par rapport au débit naturel antérieur au traité canado-étatsunien de 1950 (200 000 pc/s). En effet, cet accord définit les aménagements hydroélectriques du Niagara et fixe précisément le débit diurne – et estival – admissible pour ne pas altérer la valeur touristique perçue du site. Les visiteurs admirent en fait un – très beau – rideau d'eau, aux effets savamment calculés pour donner l'impression d'un débit – presque... – inchangé. Ces chutes spectaculaires sont donc le résultat de compromis entre les ingénieurs d'État canadiens et étatsuniens, alors en concurrence, notamment pour des questions de prestige national et technique, d'impératifs industriels (produire de l'électricité), touristiques (conserver l'apparence d'un spectacle de la nature inchangé) et urbanistiques (ne pas provoquer d'élévation trop importante du niveau du lac Érié pouvant affecter



FIGURE 1. Les chutes du Niagara : spectacle de la nature par excellence... ou aménagement hydroélectrique issu de compromis techniques entre ingénieurs états-uniens et canadiens? (Crédit photo : Laurent Heyberger.)

les constructions côtières et même la navigation). Elles constituent une entité machine-jardin conçue dans les années 1950 à l'aide du plus grand modèle physique jamais construit – et l'un des derniers avant le passage à l'informatique – et d'un immense prototype, mais faisant tout pour être oubliée : le modèle de conception prend en compte les questions de colorimétrie de l'eau, le projet comprend des enquêtes sur la perception esthétique des riverains, ainsi que des tests réalisés au moyen de faisceaux lumineux et déployés à grande échelle, afin d'évaluer l'élévation du niveau de l'eau dans les cascades, dans le but final de rendre l'altération du site par les aménagements hydroélectriques la moins visible possible : les ingénieurs vont jusqu'à prendre en compte la croissance saisonnière des mauvaises herbes – qui consomment une partie de l'eau et la formation hivernale de glace, modélisée par des blocs de paraffine (Macfarlane 2020).

Si certaines causes sont bien sûr parfois davantage structurantes que d'autres, il est aujourd'hui impossible de réduire l'histoire à un facteur premier (fût-il économique, technique, politique, culturel, biologique, social ou environnemental) duquel tout découlerait. Réciproquement, l'analyse du fait technique est d'importance, car il n'est aucun phénomène humain qui ne soit pas à un certain niveau techniquement constitué : la technique n'est jamais tout (pas de déterminisme donc), mais elle ne compte jamais pour rien.

2] L'évolution technique : succession d'inventions ou cycles d'adaptation et d'exaptation ?

En biologie, l'adaptation est le mécanisme par lequel la fonction crée l'organe. Sous la pression du milieu, une capacité matérialisée par un organe va apparaître et se stabiliser en raison de l'avantage qu'elle procure. Tout comme les contraintes du milieu produisent une pression évolutive en biologie – l'adaptation –, les contraintes de la matière induisent certains invariants morphologiques en matière technique : on constate alors que, de façon similaire, la fonction crée elle aussi l'organe, en partie tout au moins. Refusant d'invoquer l'intervention de la divine Providence, l'ethnologue et préhistorien André Leroi-Gourhan explique les similarités fonctionnelles entre des objets (propulseurs, herminettes, haches, etc.) éloignés temporellement et culturellement par le concept de tendance, véritable

faisceau de convergence entre les capacités physiologiques et les contraintes biomécaniques et physiques de la matière.

L'exaptation est un concept, initialement proposé par les biologistes Stephen J. Gould et Elizabeth Vrba, qui constitue l'exact envers de l'adaptation (Gould & Vrba 1982) : ce n'est alors plus la fonction qui crée l'organe, mais l'organe qui crée la fonction par dérivation fonctionnelle de structures déjà présentes. Les tétrapodes ont ainsi acquis des pattes avant de sortir de l'eau, pattes qui avaient un rôle de pagaies, avec des doigts pour agripper les proies lors d'une attaque. La capacité de marche octroyée par les pattes est apparue ultérieurement, au moment de la sortie de l'eau (elle aussi d'ailleurs rendue possible par une exaptation, puisque les poumons primitifs sont, avant d'être utilisés lors des sorties sur la terre ferme, une adaptation aux eaux appauvries des lagunes). Le mécanisme est le même pour les plumes, qui servaient initialement à la régulation thermique et à la protection, avant d'exapter la possibilité du vol chez certains animaux. Si l'adaptation technique s'opère lorsque la fonction crée l'outil, l'exaptation advient lorsque l'outil crée la fonction, autrement dit lorsqu'une technique, produite dans un but précis, en vient à être utilisée pour tout autre chose une fois déployée (Simone 2012). Loin d'être un cas particulier, cette situation est la norme en histoire des techniques : l'être humain crée des dispositifs pour répondre à des demandes historiquement et culturellement situées, mais une fois ceux-ci massifiés, les usages qu'ils autorisent et le monde qu'ils ouvrent s'avèrent invariablement très différents de ce pour quoi ils avaient été initialement pensés.

L'histoire des techniques met ainsi en évidence de nombreux cycles d'adaptation et d'exaptation. Qu'elle ait été introduite depuis la Chine ou réinventée en Europe, la poudre à canon n'est initialement qu'une nouveauté assez anecdotique. Il s'agit surtout d'un moyen de propulsion alternatif aux nerfs de bœufs et autres dispositifs mécaniques (catapultes, trébuchets, mangonneaux) de tir de projectiles sur l'ennemi : les bombardes sont au départ des fûts de bois cerclés de métal projetant des pierres. Il faut attendre le XVII^e siècle pour que les potentialités techniques de la poudre aboutissent à une massification et à une standardisation de son usage, révolutionnant à jamais les pratiques militaires (ce qui en passe par le calibrage industriel, la production métallurgique et l'extrac-

tion minière à grande échelle). Il faut donc plusieurs siècles avant que l'«invention» de la poudre à canon ne devienne un événement décisif! Initialement simple adaptation poliorcétique, les armes à feu exaptent finalement la guerre contemporaine intégralement organisée autour de sa maîtrise.

Les premières machines à vapeur (bien antérieures à James Watt) fonctionnent mal et peu : ces pompes à feu servent parfois de substitut aux manèges animaux ou aux roues à aube pour extraire l'eau des mines. L'entrepreneuriat européen arrime pourtant progressivement sa trajectoire sur ces dispositifs (qui ne cessent d'être améliorés au cours des siècles) car ils permettent de s'émanciper des rythmes naturels (saisons, sécheresses) et humains (bassins ouvriers organisés) ainsi que des limites de l'économie organique (la ressource charbon peut alors s'ajouter à l'eau et au bois) qui limitaient toute production fondée sur l'énergie hydraulique seule² : la machine à vapeur, adaptation produite pour l'exhaure minière, arrime le capitalisme industriel, véritable exaptation technologique (figure 2).

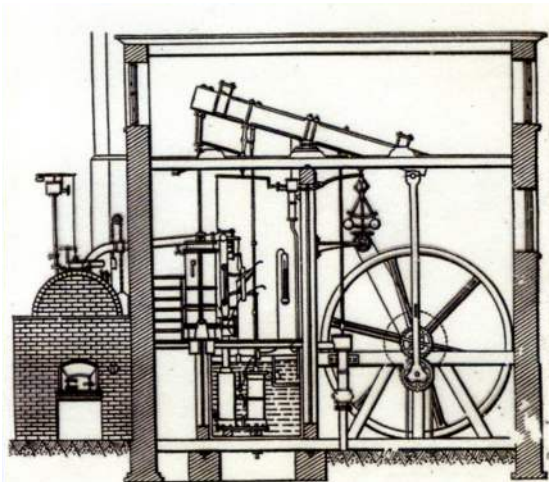


FIGURE 2. La machine à vapeur : un exemple de technique adaptée/exaptée par excellence (copie du dessin de la machine à vapeur de Watt, dans John Farey, *A Treatise on the Steam Engine, Historical, Practical, and Descriptive*, Longman, Rees, Orme, Brown, and Green, 1827).

[2] Ce que Barbara Hahn (2020) définit en termes d'hybridités (des matières premières utilisées, de systèmes techniques, des organisations sociales, des sources d'énergie, etc.). Sur le rôle du bois et du charbon, voir Pomeranz (2000), Malm (2016).

Cette source d'énergie en vient alors à alimenter le fret. Les premiers chemins de fer visent à véhiculer du charbon, avant que l'on ne découvre qu'il existe un vaste marché de transport de personnes, qui à terme recompose intégralement l'espace vécu et perçu (Desportes 2005) : adaptation initiale proposant une alternative au convoiage fluvial, le train exapte finalement le paysage et la vitesse industrielle contemporaine (Ollivro 2000). De la même manière, les premières automobiles apparaissent comme des calèches sans chevaux, avant que, près d'un demi-siècle plus tard, la voiture ne devienne le socle sur lequel l'économie et la géographie contemporaines se déploient (Flonneau, Laborie & Passalacqua 2014) : le déploiement automobile exapte une organisation urbaine étalée, où la distance moyenne du domicile au travail est supérieure à 25 kilomètres en France³.

Toute technique qui se développe à l'échelle d'une société entraîne des formes d'exaptation. Le pétrole sert initialement à lubrifier les machines à vapeur afin d'accroître leur rendement, avant que d'autres moteurs ne soient produits pour utiliser la puissance dégagée par sa combustion (Auzanneau 2015). L'imprimerie, de moyen de reproduction plus rapide des manuscrits, devient l'arme ultime des Réformés contre la papauté et constitue, selon le mot du théologien Jean Calvin, un don du ciel visant à répandre la parole divine (Eisenstein 2003). Le développement du microphone exapte la chanson française des années 1930, dans la lignée des crooners américains, en reconfigurant l'interprétation vocale, gestuelle et faciale des textes, les goûts du public et, *in fine*, le répertoire musical (Bocquet 2021). Dans les campagnes sud-coréennes des années 1970, les motoculteurs, à la base de l'économie rizicole capitaliste, qui avaient été importés du Japon au début de la guerre froide, sont détournés pour un usage « hérétique » : ils sont devenus des véhicules utilitaires, ce qui implique en retour la conception d'engins moins puissants, adaptés à ces usages paysans (Choi 2017). Les smartphones engendrent un besoin de communiquer à distance sans précédent et réduisent l'usage de la conversation téléphonique à sa portion congrue alors que d'autres fonctionnalités au départ annexes (comme les messageries instantanées) en viennent à domi-

[3] Chiffres Insee de 2004 (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/1280781>).

ner (Simone 2012). Howard Aiken, qui a conçu pendant la Seconde Guerre mondiale l'ordinateur électromécanique Mark I à Harvard, écrit à Jay Forrester, responsable du projet Whirlwind (qui donne naissance au premier ordinateur numérique), qu'«il n'y aura jamais assez de problèmes, assez de travail, pour occuper plus d'un ou deux de ces ordinateurs» (Edwards 2004, p. 231). Il est souvent très difficile d'imaginer l'exaptation qui résultera de l'introduction massive d'une technologie dans la vie quotidienne.

L'histoire humaine n'est donc pas mue par de grands génies qui anticiperaient la destinée promise à leurs inventions : le cours des événements n'est guère plus déchiffrable pour les producteurs de techniques nouvelles que pour le commun des mortels, qui peinent à imaginer ce que la massification d'une technique engendrera à long terme. D'ailleurs, l'invention du génie créateur est récente (deux siècles tout au plus) et elle permet de naturaliser le devenir industriel du monde (Carnino 2019). En faisant comme si tout était écrit à l'avance, on infuse pernicieusement l'idée que seuls ces esprits illuminés peuvent déchiffrer la partition du progrès – la réciproque étant bien évidemment que les populations n'ont pas leur mot à dire sur ces évolutions, qu'elles ne peuvent ni comprendre ni discuter.

3] L'industrie comme changement quantitatif aboutissant à une transformation qualitative

Toute technique est le produit d'une société, en même temps qu'un élément transformateur du social : l'historiographie récente ne perçoit conséquemment plus de révolution industrielle à l'aube du XIX^e siècle (Fressoz 2015), mais bien plutôt un gradient continu allant au moins du siècle des lumières à nos jours – la machine à vapeur ne jouant initialement plus qu'un rôle mineur, de consolidation du processus d'industrialisation (Hahn 2020). Derrière l'abandon de la notion de révolution industrielle, il y a la définition de l'industrie par la scalabilité. Depuis l'émergence de marchés de grande ampleur et la mise en place de productions standardisées, en passant par la prolétarianisation et l'exploitation d'une main-d'œuvre dont le rapport au travail est du même coup transformé par la segmentation des tâches et la division du travail, jusqu'à la dépossession des savoir-faire au profit d'une certaine mécanisation, l'industrie, dont l'advenue est ancienne et remonte au moins à

l'Antiquité et au Moyen Âge (Pagès & Verna 2022) recouvre divers phénomènes (Sabel & Zeitlin 1985). L'industrialisation quant à elle, en tant que processus de croissance industrielle des sociétés, est beaucoup plus récente, et date de deux siècles, trois tout au plus si on intègre pleinement l'hapax britannique à cette chronologie. Avec l'abandon de la notion de révolution industrielle, l'histoire des techniques intègre les apports de l'École des Annales (il aura fallu près d'un siècle!) insistant sur la prééminence des transformations au long cours des mondes humains (Burguière 2006).

Les recherches étudiant l'industrie sous toutes ses formes ont progressivement bousculé la définition économiste classique du phénomène : ainsi en est-il de la notion de service, autre repoussoir ancien de l'industrie (les consultants en entreprises opposent encore les deux aujourd'hui), qui en est venu à constituer parfois le cœur même de certaines productions industrielles – on peut penser aux centres d'appels téléphoniques, à l'armée de femmes enrôlées pour effectuer les calculs du projet Manhattan et autres projets de la Défense étasunienne (Lee Shetterly 2016, Evans 2018) ou, plus proche de nous, aux « travailleurs du clic » employés pour nettoyer les réseaux sociaux (Roberts 2020). Si la définition canonique de l'industrie intègre aujourd'hui la notion de service, elle mobilise toujours une multiplicité de critères, et repose souvent en dernière instance sur la notion de marché, destination terminale de la production industrielle. Pourtant, même cet ultime critère peut peiner à rendre compte de certaines configurations industrielles. La pisciculture, telle qu'elle s'industrialise en France sous le Second Empire, opère initialement (et durant plusieurs années), sans recours à un quelconque marché, l'État finançant la construction d'infrastructures (notamment l'établissement modèle de Huningue ayant vocation à essaimer au sens propre comme au sens figuré sur l'ensemble du territoire national puis européen) et les réseaux de distribution (Carnino 2014). On assiste alors à une montée en puissance typiquement industrielle, sans qu'aucun marché ne soit établi, ni localement, ni nationalement.

Dans la même logique, la prise en compte des problématiques de sécurité, que ce soit pour l'activité de production ou l'usage des produits, ne se fait souvent qu'à l'initiative de la puissance publique, sous la pression de l'opinion publique, contre la logique de mar-

ché, mais *in fine* pour préserver un certain ordre économique et social, avant que la culture du risque n'évolue et ne fasse éventuellement de la sécurité un argument de vente. Ainsi, les premières mesures assurant la sécurité dans les mines britanniques à partir du milieu du XIX^e siècle améliorent les conditions de travail et de déplacement des mineurs, puis des galeries expérimentales sont construites en surface, qui permettent d'étudier les explosions et de réduire encore le nombre de victimes, alors que l'essor spectaculaire de l'extraction s'accompagne grâce à ces mesures d'une baisse des accidents mortels par ouvrier (Mills 2010). Ainsi, dans les années 1920, à rebours de la logique taylorienne où l'individu doit s'adapter à la machine, les expérimentations militantes de Jean-Maurice Lahy à la STCRP⁴, dans son nouveau laboratoire de psychotechnique, promeuvent plutôt l'adaptation réciproque entre une tâche et l'opérateur, considéré comme sujet à la fatigue : cette démarche connaîtra un certain succès en Europe (Passalacqua 2014). Ainsi, durant les « Trente polluées », l'*American Way of Life*, qui repose sur la voiture et l'autoroute, est de plus en plus remis en question, notamment par l'OMS qui assimile les accidents de la route à une épidémie et, aux États-Unis, par le célèbre pamphlet de Ralph Nader. Pour préserver l'industrie automobile qui ne prend pas alors conscience du problème (« la sécurité ne se vend pas »), le président Nixon impose aux membres de l'Otan une dimension « qualité de vie » dans le pacte atlantique. Afin de prouver que la sécurité des automobiles peut s'améliorer si l'on tient compte de cet impératif dès la conception du véhicule et non à sa fin, la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) recourt avec succès aux industries privées de l'aéronautique et de la défense, qui ne sont pas soumises aux contraintes du marché automobile. Mais les résultats sont beaucoup plus mitigés en Europe, car ni le système technique – voitures plus petites, rues plus étroites, etc. – ni le marché – niveau de vie inférieur – ne sont alors identiques (Esselborn 2020).

Cette troisième leçon, partant de la remise en cause de la notion de révolution industrielle, tient notamment à l'importance décisive des effets d'échelle. Tout acte technique – qu'il s'agisse d'éplucher

[4] Société des transports en commun de la région parisienne, ancêtre de la RATP.

une carotte, d'appuyer sur le bouton «Alimentation» d'un ordinateur, de tricoter un pull ou de répondre au téléphone – pose des questions nouvelles et requiert des infrastructures inédites lorsqu'il est pratiqué à échelle industrielle. Produire une technique et rendre une technique scalable sont deux opérations différentes.

Cette question du passage à l'échelle est cruciale dans le renouveau de la compréhension du processus d'industrialisation. Quel que soit le critère ultime choisi – secteur, marché, type de biens, mode de production, etc. – pour qualifier l'essence de l'industrie, il est ainsi toujours possible de trouver des contre-exemples. Si l'on entend définir l'industrie par le recours aux machines (à distinguer de l'outil), il faut prendre en compte le fait que des forgerons, comme ceux du Béarn au XIV^e siècle, aient été capables de livrer, depuis leurs forges de village, des fers de faux et des lames sur les marchés régionaux (Pagès & Verna 2022), que les ateliers languedociens, multiples et dispersés, aient pu fournir en quantité des draps à destination des marchés méditerranéens dès la fin du Moyen Âge (Caliste 2021), qu'à l'époque moderne l'artisanat du textile indien exportait massivement en Europe – et ailleurs – ses «indiennes», dont les Européens tentaient de copier les savoir-faire et d'espionner les savoirs chimiques, que la production manuelle (artisanale?) de chapeaux au Chili ait pu atteindre au cours du XX^e siècle des proportions industrielles (Flacher & Pelletan 2007), ou à l'inverse le fait que l'on utilise de nombreuses machines dans le modélisme amateur (aérographe, perceuses, imprimantes 3D, etc.). Si l'on défend la division des tâches comme la base de tout processus industriel, il faut alors expliquer comment les opérations pouvaient être aussi largement segmentées dans l'artisanat du luxe londonien au XVIII^e siècle, à tel point qu'une véritable grammaire technique avait été développée pour la tenue des registres comptables (Hilaire-Pérez 2013). L'innovation qui, pensait-on jadis, impulsait le développement industriel, n'est en réalité en rien l'apanage de l'entrepreneuriat capitaliste, puisque les communautés artisanales ont toujours pratiqué l'invention collectivement façonnée et maîtrisée (Hilaire-Pérez 2000). Rattacher l'industrie à la transformation des matières premières (un lien sémantique que l'on trouve déjà en 1771 chez l'abbé Baudeau [Baudeau 1771], réinventé avec la catégorisation des trois secteurs économiques – primaire, secondaire et tertiaire – issue de l'économie américaine, Flacher & Pelletan 2007) ne résout

pas davantage la question, d'une part parce que l'artisanat mérite alors tout autant cette qualification, et d'autre part parce qu'il existe aujourd'hui des secteurs que l'on qualifierait volontiers d'industriels et qui ne transforment pourtant aucune matière première en produit manufacturé : on peut penser aux plateformes logistiques qui ont connu une industrialisation massive depuis quelques décennies (au point que le secteur dépasse désormais le BTP – pourtant historiquement leader – en matière de maladies professionnelles et d'accidents du travail, Benvegnù & Gaborieau 2017), aux centres d'appels où les managers ont appris à gérer jusqu'au sourire des intérimaires (Amiech 2003), à l'agriculture ou à l'extraction minière industrialisées (qui devraient pourtant constituer le cœur du secteur primaire) ou même aux datacenters qui ne produisent rien de physique dépassant la taille de l'électron et qui mobilisent pourtant des infrastructures propres à l'industrie lourde (cuves de fioul titanesques, climatiseurs géants, installations classées Seveso, etc. – Carnino & Marquet 2018). On peut bien sûr décider d'user d'un critère arbitraire pour définir l'industrie, mais on voit alors de nombreuses situations limites déborder le sens commun. C'est ainsi que les datacenters, originellement classés dans le tertiaire, puisque rattachés à la bureautique et au secteur informatique, ont posé question à plusieurs communes, car la résistance au sol et la hauteur sous plafond des bâtiments les ont parfois fait basculer dans le secteur industriel, ce qui peut engendrer des contradictions administratives, notamment en termes de taxation (Carnino & Marquet 2022). L'étude d'un secteur actuellement en plein déploiement, comme celui du datacenter, met ainsi en évidence la pluralité des domaines (biens, services, infrastructures, division du travail, etc.) mobilisés dans un processus d'industrialisation : s'en dégage notamment le sentiment que de très nombreux critères sont en réalité à l'œuvre dans un tel processus.

On saisit alors ce qui se joue au cœur du phénomène industriel : l'industrie advient lorsqu'un phénomène technique croît quantitativement au point de changer de nature. L'industrie n'est rien d'autre qu'une grande quantité de moyens techniques regroupés dans un temps et un espace donnés. Ce que l'histoire de l'industrie nous apprend, c'est qu'il faut dépasser la distinction entre degré et nature, entre gradation et rupture ontologique, c'est-à-dire entre quantité et qualité en histoire des techniques : on ne peut saisir la spécificité

du phénomène industriel qu'en instruisant ce dépassement. Toute différence de nature peut n'être, selon le niveau d'analyse mobilisé, qu'une différence de degré : au-delà d'un certain seuil de concentration, une différence de quantité opère une distinction de qualité⁵, une variation de degré fait advenir un changement de nature. Une flaque d'eau et le lac Baïkal peuvent bien être constitués des mêmes particules élémentaires combinant hydrogène et oxygène selon un ratio de deux pour une, leur différence de taille implique qu'ils doivent être dans la plupart des cas distingués et traités comme des entités de nature différente. Un feu de paille et un haut-fourneau ne sont pas du même ordre, bien qu'ils brûlent tous les deux. Certains seuils d'accumulation sont parfois franchis et aboutissent à des changements d'échelle dont les conséquences peuvent être radicales : on sait aujourd'hui qu'à des échelles différentes s'appliquent souvent des lois différentes, qu'il s'agisse des divergences entre la physique galiléo-newtonnienne et la physique quantique, ou bien de la distinction entre le droit civil et le droit administratif (qui recouvre le changement de nature entre une personne et une masse d'individus – un État). Différence de degré et de nature se recouvrent jusqu'à un certain point avant de diverger radicalement – un principe à garder à l'esprit lorsque l'on traite des techniques.

Pour chacun des critères et oppositions mentionnés précédemment (développement d'un marché, concentration de la main-d'œuvre, segmentation des tâches, innovation, standardisation, etc.), on perçoit alors que la question est celle du seuil de croissance à partir duquel la nature même de l'activité technique change radicalement : « Qui change d'échelle change d'essence », nous rappelle l'anthropologue Michael Singleton (2007). Si élever un cochon peut poser des questions d'hygiène, engraisser mille porcs soulève des questions environnementales (Espagnol & Leterme 2010), comme le montre trop parfaitement l'ouverture en 2022 d'un « hôtel à cochons » (ferme verticale) dans la province chinoise de Hubei, destiné à l'élevage de 650 000 porcins. Mettre en place une recherche textuelle dans une base de données en ligne est l'affaire de quelques dizaines de minutes pour un développeur compétent ; rendre interrogeable

[5] La notion de qualité est bien sûr entendue ici au sens de caractère ontologique et non de niveau de perfection de la production d'un bien.

la (quasi-)totalité du Web est une entreprise colossale, qui nécessite plus d'un million de serveurs (et les coûts énergétiques et environnementaux afférents) et s'appelle aujourd'hui Google, Bing ou Yahoo.

Chacune des oppositions précédemment mentionnées entre caractéristiques artisanales et attributs industriels est donc en réalité un gradient progressif – à défaut d'être linéaire – qui franchit parfois des seuils et engendre une transformation essentielle. On peut d'ailleurs interroger les liens entre ces différents couples antagonistes lorsque l'échelle technique croît : la quantification peut ainsi parfois produire une déqualification des tâches (l'ouvrier spécialisé du taylorisme incarnant cette opposition à l'ouvrier qualifié et maître d'un savoir-faire spécifique) ; le déploiement de la chimie industrielle (notamment la production de soude et d'acides artificiels – Le Roux 2011) a ainsi crû au point de modifier radicalement les environnements ; la concentration spatiale des équipements et de la main-d'œuvre a nécessité la construction d'espaces dédiés et donné naissance à des architectures nouvelles, tout en conservant des implantations souvent préexistantes et en faisant parfois référence aux standards architecturaux des édifices vernaculaires (Belhoste & Smith 2011) ; la mécanisation de la dactylographie a engendré un double phénomène de féminisation et de prolétarianisation des tâches d'écriture (Gardey 2008) ; etc.

Définir l'industrie comme ce qu'il advient d'un phénomène technique lorsque sa croissance quantitative entraîne sa transformation qualitative permet de souligner que les enjeux de l'industrialisation ne sont pas ceux d'un secteur en particulier (comme la production manufacturière), d'un rapport socio-économique déterminé (comme le salariat ouvrier) ou même d'une configuration politique unique (la division capitaliste du travail), mais que toutes ces dimensions peuvent se trouver imbriquées dans le passage à l'échelle d'une activité technique, quelle qu'elle soit, et que ce changement d'échelle, en retour, concerne in fine le vivre ensemble planétaire, c'est-à-dire tout le monde.

4] L'efficacité sociale toujours relative et non absolue des techniques

L'efficacité d'une technique n'existe pas dans l'absolu, mais seulement au sein d'un univers sociotechnique donné. Il est ainsi impor-

tant de comprendre qu'à l'échelle historique, le temps social évolue indépendamment de l'action d'un individu. Avec l'avènement de la téléphonie mobile, l'élasticité horaire est devenue la norme lors de rendez-vous amicaux, puisque l'habitude a été prise de pouvoir prévenir de son arrivée plus ou moins imminente : quand bien même je ne suis pas celui qui est en retard, la faute peut m'être imputée si je ne possède pas de téléphone portable et que l'on n'a donc pu me prévenir ! Si je vis dans un monde en pleine accélération technique, je serai soumis, même si je choisis de ne pas faire usage de la majorité des systèmes qui m'entourent, à la tyrannie de l'instant (Eriksen 2001).

Le rapport au temps est indexé sur les dispositifs sociotechniques. Comprendre cela permet de court-circuiter les faux débats concernant le gain de temps présumé qu'aurait permis telle ou telle technique, alors que l'enjeu réel est celui des temporalités sociales. L'agriculture aurait diminué le temps consacré à la recherche de nourriture, la machine à laver aurait diminué le fardeau ménager féminin, la voiture aurait accru la vitesse des déplacements, etc. Presque toutes les techniques semblent pouvoir être qualifiées en fonction du gain de temps qu'elles engendrent pour une personne donnée. En réalité, la question ne se pose jamais ainsi. D'une part, très factuellement, on peut remettre chacun de ces jugements naïfs en cause : les premières sociétés agricoles impliquaient un temps de travail quotidien supérieur comparativement aux chasseurs-cueilleurs (Scott 2019) ; les machines à laver ont recomposé les normes féminines en matière de travail ménager et de propreté au point d'accroître le temps y étant consacré (Cowan 1983, Forty 1986, Delaunay 1994, Shove 2003) ; la voiture n'a pas accru la vitesse généralisée, calculée comme la totalité des distances parcourues divisée par la totalité du temps passé aussi bien à conduire sa voiture qu'à l'obtenir et à l'entretenir (Illich 1973). D'autre part, et c'est ce qui compte surtout ici, un gain de temps n'est presque jamais vécu de façon absolue par un individu, mais toujours de façon relative, comparativement aux normes temporelles de la société dans laquelle il vit. Or, celles-ci évoluent avec les techniques.

L'exemple de la machine à laver est ici parlant (figure 3). Avant l'ère industrielle, l'entretien des vêtements était délicat, car ils étaient souvent taillés dans des textiles non lavables : on les brossait, et

à mesure qu'ils se détérioraient, ils étaient revendus à des individus de classes sociales inférieures, suivant la longue chaîne de la friperie. Seul le linge blanc (souvent possédé en grande quantité, comme le montrent les inventaires après-décès – Thuillier 1969) était traditionnellement lavé à la cendre et à l'eau deux à quatre fois l'an, lors de rassemblements collectifs qui rythmaient la vie des femmes durant parfois une semaine. Alors qu'émergent les premiers tissus synthétiques et conjointement au développement du courant hygiéniste, l'injonction à bouillir le linge devient plus forte au cours du XIX^e siècle : la lessive devient de plus en plus

fréquente. En 1850, l'État français entreprend de créer des lavoirs publics dans chaque village, et on compte en 1900 à Paris plus de mille entreprises de blanchisserie, où certaines machines lessivent parfois jusqu'à une tonne de linge (Delaunay 1994). À la fin du Second Empire, le lavage du linge bourgeois occupe 70 000 blanchisseuses spécialisées, décrites par l'historienne Michelle Perrot comme des « femmes libres, vigoureuses, indépendantes, très présentes dans la vie et les mouvements populaires, qu'elles animent souvent » (Perrot 1980). Les premières machines mécaniques dont le tambour tourne à la manivelle apparaissent en France vers 1880, mais c'est vers 1920 que les laveuses envahissent le marché, avant de devenir semi-automatiques après la Seconde Guerre mondiale. Il n'est donc guère possible de comparer la lessive avant la machine à laver et après, car c'est tout un complexe d'attendus culturels (le rapport au propre et au sale – Vigarello 1985 –, la durée de vie escomptée d'un vêtement) et socioéconomiques (doit-on laver collectivement, auprès de professionnels ou chez soi ?) qui changent



FIGURE 3. La machine à laver le linge : un gain de temps, mais pour qui et à quelle époque ? ou de l'efficacité sociale relative de toute technique (*Arts ménagers*, n° 10, septembre-octobre 1950, Arts ménagers éditions).

à mesure que les techniques se transforment pour répondre aux besoins des populations, tout en devançant certains d'entre eux et en les faisant évoluer à leur tour. Sans anachronisme, on ne peut donc pas comparer le nettoyage du linge à la Renaissance et durant les Trente glorieuses.

Le niveau technique moyen d'une société détermine, pour un acte donné, le temps escompté pour celui-ci : si toutes les femmes d'une communauté savent qu'elles passent une semaine, deux fois l'an, au lavoir, et que ceci constitue une forme de vie admise et partagée, nul ne considérera « perdre son temps » de la sorte. À l'inverse, une ménagère française des années 1970 ne voudrait pour rien au monde laver les vêtements du foyer au ruisseau voisin : ceci lui apparaîtrait comme une pure perte de temps et comme un acte dégradant. Le transport équestre, longtemps l'apanage des riches et des puissants, est aujourd'hui au mieux exotique, voire la marque d'une volonté (comme chez les Amish) de se tenir en dehors des rythmes techniques du temps présent. Le TGV et l'avion sont désormais les moyens de transport favorisés par les cadres supérieurs qui n'envisagent pas un seul instant la possibilité de se déplacer en calèche. On imagine aisément qu'après le déploiement d'un hyperloop (train à sustentation magnétique faisant le tour de la Terre à plus de 1 000 km/h) ou, plus encore, l'invention de la téléportation, gares et aéroports apparaîtraient comme les lieux du transport des pauvres : l'élite mondiale se déplacerait alors instantanément grâce aux téléporteurs. Un gain de temps ne se mesure donc jamais, pour l'individu, en valeur absolue, mais bien relativement à l'état technique de la société dans laquelle il vit et dans laquelle il peut se situer. Tout comme Marx définit la valeur économique dans son rapport au temps de travail moyen socialement nécessaire pour produire une denrée, on peut considérer que l'efficacité d'une technique n'existe pas dans l'absolu, mais seulement au sein d'un univers sociotechnique donné : c'est le différentiel qui compte en dernière instance. Si j'ai accès à une calèche, alors que la majorité de mes contemporains se déplace à pied, je vivrai ma situation comme privilégiée et mon déplacement comme rapide. Si je n'ai accès qu'à un cheval, alors que mes concitoyens volent dans des *airspeeders* futuristes, mon déplacement m'apparaîtra comme terriblement lent et marquera mon exclusion des rythmes sociaux partagés.

Le temps social moyen d'exécution d'une action détermine la perception d'efficacité (toujours relative) d'une technique : autrement dit, comme le différentiel prévaut, plus on produit des techniques puissantes, plus le spectre de différenciation est large. Entre la marche à pied et le galop d'un cheval se joue un ordre de grandeur de trois ou quatre au maximum, et en réalité souvent moins (sur une route médiévale, un cheval parcourait rarement plus de trente kilomètres par jour – Verdon 2007). Entre la marche et le voyage en avion, le différentiel est supérieur à cent, ce qui laisse émerger tout un gradient de différenciations possibles et donc d'inégalités potentielles. L'économiste Joseph Schumpeter considérait que le progrès technique était en faveur de la réduction des inégalités. Alors que les rois disposaient d'une armée de serviteurs pour allumer les chandelles des lustres éclairant leurs soirées, un ouvrier européen du XX^e siècle pouvait réaliser le même prodige en appuyant simplement sur un interrupteur : « L'éclairage électrique n'améliore pas grandement le confort de quiconque est assez riche pour acheter un nombre suffisant de chandelles et pour rémunérer des domestiques pour les moucher » (Schumpeter 1942). En réalité, plus le seuil de différenciation d'une technique est important, plus l'ampleur de la hiérarchie sociale augmente potentiellement d'autant. À l'ère de l'automatisation électronique, de nombreuses populations s'éclairent toujours à l'huile, au pétrole ou à la chandelle sur notre planète (Edgerton 2007) : le spectre des inégalités – de la bougie au smart building dont l'éclairage se règle automatiquement en fonction de la luminosité extérieure – a été accru. Il est ainsi fort possible que la croissance contemporaine des inégalités et le développement exponentiel des technologies soient davantage en lien que ce que certaines analyses des marchés de l'innovation laissent entendre.

Pour aller plus loin

EDGERTON David (2013) [2007], *Quoi de neuf? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Seuil.

Par un spécialiste internationalement reconnu, l'histoire héroïque et légendaire de certaines ruptures techniques majeures du XX^e siècle remise dans une perspective critique, ou de l'importance des usages collectifs versus le conte des génies solitaires.

Hahn Barbara (2020), *Technology in the Industrial Revolution*, Cambridge University Press.

Une relecture complète, synthétique et interconnectée entre continents de la « Révolution industrielle », à la lumière de l'historiographie la plus récente et qui développe les points majeurs de ce chapitre (multicausalité, adaptation-exaptation, scalabilité des échelles, efficacité sociale relative des techniques)... mais aussi la dimension coloniale de la première industrialisation.

Scott James C. (2019) [2017], *Homo domesticus. Une histoire profonde des premiers États*, La Découverte.

Ouvrage qui interroge à nouveaux frais l'apparition des « vieilles » techniques qui sont au fondement de nos civilisations contemporaines (agriculture, urbanisation, etc.) à l'aune des dynamiques écologiques et sociales et qui donne à réfléchir à l'aménagement des territoires hier, aujourd'hui et demain.

Bibliographie

- AMIECH Mathieu (2003), « Entre personnalisation et gestion standardisée : les paradoxes des centres d'appels », in Valérie Broussard & Salvatore Maugeri (dir.), *Du politique dans les organisations. Sociologie des dispositifs de gestion*, L'Harmattan, p. 89-104.
- ARNOUX Mathieu (2012), *Le Temps des travailleurs. Travail, ordre social et croissance en Europe (XI^e-XIV^e siècle)*, Albin Michel.
- AUZANNEAU Matthieu (2015), *Or noir. La grande histoire du pétrole*, La Découverte.
- BAUDEAU Nicolas (1910) [1771], *Première introduction à la philosophie économique, ou analyse des états policés*, Geuthner.
- BAUDRILLARD Jean (1970), *La Société de consommation*, Gallimard.
- BELHOSTE Jean-François & SMITH Paul (2012), *Architectures et paysages industriels. L'invention d'un patrimoine*, La Martinière.
- BENVEGNÙ Carlotta & GABORIEAU David (2017), « Produire le flux. L'entrepôt comme prolongement d'un monde industriel sous une forme logistique », *Savoir/Agir* 39(1), p. 66-72.
- BOCQUET Thelma (2021), *Le Charme du microphone. Métamorphoses de la chanson dans la France des années 1930*, UGA.
- CALISTE Lisa (2021), *Le Lodévois et ses marges. Industries, ateliers et entreprises (vallées de la Lergue et de l'Hérault, xv^e siècle)*, thèse de doctorat d'histoire médiévale sous la direction de Catherine Verna, Université Paris 8.
- CALISTE Lisa & CARNINO Guillaume (2022), « Qu'est-ce que l'industrie ? Qualité, territoires et marchés sur la longue durée », *Artefact* 17, p. 219-242.

- COWAN Ruth Schwartz (1983), *More Work for Mother: the Ironies of Household Technology from the Open Hearth to the Microwave*, Basic Books.
- BURGUIÈRE André (2006), *L'École des Annales. Une histoire intellectuelle*, Odile Jacob.
- CARNINO Guillaume (2014), «L'académicien et le pêcheur. Entre science, État et industrie: l'invention de la pisciculture en France, 1840-1880», in Patrice Bret & Gérard Pajonk (dir.), *Savants et inventeurs entre la gloire et l'oubli* (actes du 134^e congrès national des sociétés historiques et scientifiques – CTHS, 12 avril 2009), CTHS, p. 51-68.
- CARNINO Guillaume (2019), «L'avènement du génie», *L'Éléphant hors-série*, p. 65-68.
- CARNINO Guillaume & MARQUET Clément (2018), «Les datacenters enfoncent le cloud: enjeux politiques et impacts environnementaux d'internet», *Zilsel* 3, p. 19-62.
- CARNINO Guillaume & MARQUET Clément (2022), «Cooling, quick fix et spaghetti cloud dans l'univers du datacenter. Changement d'échelle et industrialisation du numérique», *Artefact* 17, p. 309-335.
- CHOI Hyungsub (2017), «Imported machines in the garden: the kyōngun'gi (power tiller) and agricultural mechanization in South Korea», *History and Technology* 33(4), p. 346-366.
- DELAUNAY Quynh (1994), *Histoire de la machine à laver. Un objet technique dans la société française*, PUR.
- DESPORTES Marc (2005), *Paysages en mouvement. Transports et perception de l'espace XVIII^e XX^e siècle*, Gallimard.
- EDGERTON David (2013) [2007], *Quoi de neuf? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Seuil.
- EDWARDS Paul N. (2004), «Construire le monde clos: l'ordinateur, la bombe et le discours politique de la guerre froide», in Dominique Pestre & Amy Dahan (dir.), *Les Sciences pour la guerre, 1940-1960*, EHESS, p. 223-249.
- ERIKSEN Thomas Hylland (2001), *Tyranny of the Moment. Fast and Slow Time in the Information*, Pluto Press.
- EISENSTEIN Elizabeth L. (2003) [1983], *La Révolution de l'imprimé à l'aube de l'Europe moderne*, Hachette.
- ESPAGNOL Sandrine & LETERME Philippe (2010), *Élevages et environnement*, Éducagri.
- ESSELBORN Stefan (2020), «Constructing Crashworthiness. The Experimental Safety Vehicle (ESV) Program and the Global Renegotiation of Automobile Safety in the 1970s», *Technikgeschichte Band 87-H1*, p. 11-42.
- EVANS Claire L. (2018), *Broad Band. The Untold story of the women who made the Internet*, Penguin.

- FLACHER David & PELLETAN Jacques (2007), «Le concept d'industrie et sa mesure : origines, limites et perspectives. Une application à l'étude des mutations industrielles», *Économie et statistique* 405-406, p. 13-46.
- FLONNEAU Mathieu, LABORIE Léonard & PASSALACQUA Arnaud (dir.) (2014), *Les Transports de la démocratie. Approche historique des enjeux politiques de la mobilité*, PUR.
- FORTY Adrian (1986), *Objects of Desire. Design and Society, 1750-1980*, Thames and Hudson.
- FRESSOZ Jean-Baptiste (2015), «Mundus oeconomicus. Révolutionner l'industrie et refaire le monde après 1800», in Kapil Raj & Heinz Otto Sibum (dir.), *Histoire des sciences et des savoirs*, t. 2: *Modernité et globalisation*, Seuil, p. 369-389.
- FRESSOZ Jean-Baptiste (2021), «Pour une histoire des symbioses énergétiques et matérielles», *Annales des mines*, série Responsabilité et environnement, p. 7-11.
- GARDEY Delphine (2008), *Écrire, calculer, classer. Comment une révolution de papier a transformé les sociétés contemporaines (1800-1940)*, La Découverte.
- GIMPEL Jean (2002) [1975], *La Révolution industrielle du Moyen Âge*, Seuil.
- GOULD Stephen Jay & VRBA Elizabeth (1982), "Exaptation, a missing term in the science of form", *Paleobiology* 8, p. 4-15.
- HAHN Barbara (2020), *Technology in the Industrial Revolution*, Cambridge University Press.
- HILAIRE-PÉREZ Liliane (2000), *L'Invention technique au siècle des Lumières*, Albin Michel.
- HILAIRE-PÉREZ Liliane (2013), *La Pièce et le geste. Artisans, marchands et savoir technique à Londres au XVIII^e siècle*, Albin Michel.
- HILAIRE-PÉREZ Liliane (2019), «L'histoire des techniques a longtemps été la discipline la plus simplificatrice», *Zilsel* 5, p. 229-267.
- ILlich Ivan (1973), *Énergie et équité*, Seuil.
- JARRIGE François (2009), *Au temps des «tueuses de bras». Les bris de machines à l'aube de l'ère industrielle (1780-1860)*, PUR.
- JARRIGE François & LE ROUX Thomas (2017), *La Contamination du monde. Une histoire des pollutions à l'âge industriel*, Seuil.
- L'ATELIER PAYSAN (2021), *Reprenre la terre aux machines. Manifeste pour une autonomie paysanne et alimentaire*, Seuil.
- SHETTERLY Lee Margot (2016), *Hidden Figures: the American Dream and the Untold Story of the Black Women Mathematicians who helped win the Space Race*, HarperCollins.
- LE ROUX Thomas (2011), *Le Laboratoire des pollutions industrielles. Paris, 1770-1830*, Albin Michel.
- MACFARLANE Daniel (2020), "Nature Empowered: Hydraulic Models and the Engineering of Niagara Falls", *Technology and Culture* 61(1), p. 109-143.

- MALM Andreas (2016), *Fossil Capital. The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso.
- MILLS Catherine (2010), *Regulating Health and Safety in the British Mining Industries, 1800-1914*, Ashgate.
- OLLIVRO Jean (2000), *L'Homme à toutes vitesses. De la lenteur homogène à la rapidité différenciée*, PUR.
- PAGÈS Gaspard & VERNA Catherine (2022), «L'invention de l'industrie antique et médiévale», *Artefact* 17, p. 243-264.
- PASSALACQUA Arnaud (2014), «Les autobus parisiens et le développement pionnier de la psychotechnique: Jean-Maurice Lahy à la STCRP, années 1910-années 1920», *Cahiers de RECITS* 10, p. 89-107.
- PERROT Michelle (1980), «La ménagère dans l'espace parisien au XIX^e siècle», *Annales de la recherche urbaine* 9, p. 3-22.
- POMERANZ Kenneth (2000), *The Great Divergence. China, Europe and the Making of the modern Economy*, Princeton University Press.
- ROBERTS Sarah T. (2020), *Derrière les écrans. Les nettoyeurs du Web à l'ombre des réseaux sociaux*, La Découverte.
- SABEL Charles & ZEITLIN Jonathan (1985), "Historical alternatives to mass production. Politics, Markets and Technology in Nineteenth-Century Industrialization", *Past & Present* 108, p. 133-176.
- SCHUMPETER Joseph (1974) [1942], *Capitalisme, socialisme et démocratie*, Payot, p. 100.
- SCOTT James C. (2019), *Homo domesticus. Une histoire profonde des premiers États*, La Découverte.
- SHOVE Elizabeth (2003), *Comfort, Cleanliness + Convenience. The Social Organization of Normality*, Berg.
- SIMONE Raffaele (2012), *Pris dans la toile. L'esprit aux temps du Web*, Gallimard.
- SINGLETON Michael (2007), «Croyance et décroissance», *Entropia* 3, p. 37-44.
- THUILLIER Guy (1969), «Pour une histoire de la lessive en Nivernais au XIX^e siècle», *Annales. Économies, sociétés, civilisations* 24(2), p. 377-390.
- VERDON Jean (2007), *Voyager au Moyen âge*, Perrin.
- VIGARELLO Georges (2013) [1985], *Le Propre et le sale. L'hygiène du corps depuis le Moyen Âge*, Seuil.
- WERRETT Simon (2022), "The Economy of Repair", in Gianenrico Bernasconi et al. (dir.), *Les Réparations dans l'histoire. Cultures techniques et savoir-faire dans la longue durée*, Presses des Mines, p. 107-118.

La constitutivité technique : enjeux théoriques

Pierre Steiner

1] De la neutralité à la constitutivité de la technique

Partons d'une vision de la technique classiquement répandue chez les ingénieurs, les entrepreneurs et les décideurs politiques : la technique, c'est un ensemble de moyens matériels (outils, instruments, machines, infrastructures). Ces moyens peuvent être au service de fins très diverses : un couteau peut autant servir à beurrer une tartine qu'à menacer une personne (encadré 1). Ces fins préexistent aux techniques qui permettent de les accomplir : elles relèvent des désirs, des aspirations et des besoins des individus. La technique n'est pas seulement subordonnée à des fins : elle est aussi le produit d'une intelligence et de connaissances, qui sont celles des concepteurs. La technique, dans ce sens, ne serait que l'application de la science et des savoirs.

Cette vision de la technique est attractive pour plusieurs raisons. Elle a l'avantage d'être simple, et d'établir des relations de hiérarchie claires : la science découvre, la technique est une application de la science, la société et les usagers bénéficient de la technique en l'utilisant pour satisfaire leurs besoins et envies. Cette vision est également commode pour l'ingénieur : à côté de la patiente application de théories, de méthodes et de lois scientifiques, il devrait uniquement s'occuper de procédures labellisées et de normes d'efficacité. Les dimensions sociales, écologiques et politiques de la technique ne seraient pas de son ressort : elles relèvent de l'amont (les décideurs, les entrepreneurs) et de l'aval (les usagers).

Encadré 1. Des couteaux et des hommes

Ce que l'on appelle classiquement en philosophie des techniques «l'argument du couteau» vise à démontrer que les techniques, en tant que telles, sont neutres, c'est-à-dire ni bonnes ni mauvaises : tout dépend des usages que nous en faisons. Un couteau ne peut-il pas en effet autant servir à beurrer une tartine qu'à tuer une personne ? L'évaluation éthique et la régulation des techniques devraient ainsi se situer au niveau de leurs usages ; il est vain de procéder en amont, dès les activités de conception et de développement.

Une découverte très récente sur nos cousins paranthropes contribue à invalider cet argument.

Dans la revue *Science* du 10 février 2023, une équipe internationale de chercheurs en anthropologie et en archéologie a présenté des résultats nouveaux sur nos cousins paranthropes africains : plus de trois cents artefacts ont été découverts au Kenya, sur le site de Nyayanga (Plummer *et al.* 2023). Ces objets de pierre taillée, que l'on peut faire remonter à un peu moins de 3 millions d'années, ont été déterrés à proximité immédiate de squelettes fossilisés d'animaux comprenant des bovidés mais aussi et surtout des hippopotames. Les ossements présentaient des marques nettes de fractures et de découpes causées par les outils.

Cette découverte montre clairement que la fabrication et l'usage de ces outils ont ouvert de nouvelles possibilités alimentaires : entailler la peau de grands mammifères comme les hippopotames avant de découper et de débiter leur chair, attendrir la viande, fracturer les os pour aller chercher la moelle, etc. La consommation de tubercules, après coupe et broyage, est aussi attestée. Sans outils, ces pratiques alimentaires et ces projets – indissociables d'un nouveau rapport aux êtres vivants non-humains, et de nouvelles formes d'organisation sociale – sont inconcevables. Il est donc plus que jamais discutable d'asserter qu'un couteau est, en tant que tel, neutre, n'encourageant aucune tendance ou façon de faire. La fabrication et l'usage de pierres taillées sont d'emblée solidaires d'usages spécifiques, de voies que nous empruntons – et donc d'autres voies que nous délaissons. Certes, un couteau ou une pierre taillée ne font rien d'eux-mêmes. Mais ils font faire. Ils transforment la façon dont nous nous rapportons à l'environnement et aux autres êtres vivants.

Avec une pierre taillée, un hippopotame m'apparaît comme une source de nourriture, et plus seulement comme un prédateur. Cette transformation de nos pratiques alimentaires, sociales, et environnementales ouverte et contrainte par les pierres taillées, nul ne pouvait l'envisager au départ. Nous empruntons un chemin dont les contours et l'issue ne sont pas déterminés par nos intentions. Étant donné que nos intentions et nos projets sont modifiés par l'usage de la technique, nous ne pouvons en effet pas savoir *a priori* où cet usage va nous mener.

De nombreux cas montrent que cette vision de la technique est inadaptée à la réalité. Comme nous allons le voir, la technique transforme nos conditions d'existence et de coexistence, et notamment nos façons de connaître, de communiquer, de travailler ou encore de désirer. Nos fins, nos projets, nos désirs sont indissociables des techniques et des moyens d'action dont nous disposons. Par la conception et le développement de techniques, l'ingénierie participe à la configuration, à l'habilitation et à la transformation – constructive *et* destructrice – de manières de faire, de penser ou encore d'interagir. Concevoir une technique, c'est transformer et contraindre un milieu au sein duquel de nouveaux désirs, de nouvelles angoisses, de nouvelles capacités et de nouvelles dépendances adviendront. Le syndrome FOMO (*Fear of Missing Out*, anxiété sociale), par exemple, n'advient que dans un milieu ouvert *et* contraint par l'usage de technologies m'amenant à être connecté, joignable et mobilisable à tout moment.

Cela signifie-t-il que, loin d'être neutre, la technique *déterminerait* nos milieux et nos expériences? Nous passerions alors de Charybde en Scylla : de l'insignifiance de la technique à sa toute-puissance, en mettant la technique *avant* ou *hors* de nos milieux.

En évitant à la fois le déterminisme par la technique et la réduction de la technique à nos usages, comment penser ce que la technique *fait* et nous *fait faire* dans nos milieux?

La notion de *constitutivité technique* est ici utile. La technique est *constitutive* de nos milieux et de l'expérience humaine (Steiner 2010). Qu'est-ce que cela veut dire? À la suite notamment du préhistorien André Leroi-Gourhan (1911-1986), et des philosophes Gilbert Simondon (1924-1989) et Bernard Stiegler (1952-2020), cela signifie que toute technique est un opérateur de transformation (qui peut

être capacitante, mais aussi appauvrissante ou encore *prolétariante*, voir le **chapitre 13**, «Déprolétarisation et savoir-faire») de ce que nous sommes, faisons, pensons et désirons – sur le plan du genre *Homo*, et au niveau de l'ontogenèse (développement de l'individu). S'approprier une technique, c'est s'ouvrir à un mode d'expérience nouveau du monde. Une technique ne *fonctionne* pas dans un monde dans lequel elle serait parachutée. Elle *constitue* un milieu : en nous habilitant à faire de nouvelles choses, elle instaure un ensemble de dépendances et de contraintes, et transforme nos intentions, nos projets et nos désirs. Les techniques ne sont pas des ustensiles, des gadgets ou des «choses utiles» qui permettraient de satisfaire des besoins et désirs déjà existants : elles reconfigurent nos façons de faire, de nous comporter, des gestes les plus simples (se tenir debout, marcher, tendre la main) (Sigaut 2013) aux pratiques intellectuelles et organisationnelles les plus sophistiquées.

Prenons quelques exemples.

- Notre expérience de la distance et du lointain dépend des techniques que nous utilisons pour nous déplacer : à pied, à cheval, en voiture ou en vol supersonique, «loin» et «proche» changent de sens.
- Notre perception visuelle d'objets est habilitée et contrainte par les instruments que nous manipulons : lunettes, microscopes, jumelles, télescopes, etc. L'usage de l'instrument, ici, me donne accès à une réalité nouvelle (Bachelard 2002, Hacking 2004). Une fois que je m'approprie l'instrument, je ne le vois pas, je ne le vois plus : je vois à travers lui, mais ce qui est vu et la façon dont je le vois adviennent en vertu de cet instrument.
- Mes relations avec des personnes qui sont physiquement à distance sont médiatisées par des supports techniques : envois de signaux, courrier postal, e-mail, vidéoconférence, etc. Ici aussi, la nature, la valeur et la qualité de l'interaction (fluidité, sincérité, fiabilité, rapidité, etc.) dépendent des supports que j'utilise. Dans la vidéoconférence, la configuration des appareils fait que je ne peux voir mes interlocuteurs dans les yeux : je peux parler avec mes yeux devant la caméra..., mais je ne vois alors pas le regard de mon interlocuteur sur l'écran. Je peux le regarder quand il me parle, mais je ne regarderai dès lors pas la caméra, rendant impossible le croisement de nos regards. *La technique*

fait une différence. L'objet technique amplifie... et réduit l'expérience qu'un agent fait du monde: le téléphone nous permet de nous parler sans nous voir, l'échange de signes écrits nous permet de nous lier sans nous parler et sans nous voir, la télévision permet de voir l'action sans être là où est l'action, la navigation sur une interface fait que nous sommes matériellement dans un espace tout en étant ailleurs, etc. Le chapitre sur la notion de milieu (**chapitre 2**) nous a aussi rappelé à quel point l'échographie, loin de *donner à voir* un être, transformait avant tout ce que signifiait être une mère, un père et un fœtus.

- L'expérience du monde qui m'entoure est conditionnée par différentes techniques: l'existence et la transmission de *cartes* nous ont permis de domestiquer des contrées au départ inconnues. Dans ce sens, le territoire (ce qu'il offre, ce qu'il invite à faire) ne préexiste pas à sa représentation cartographique (Jacob 1992), tout comme le système est indissociable des techniques par lesquelles nous le modélisons et le calculons. Une forêt peut m'apparaître dangereuse si je ne dispose pas de moyens d'orientation (GPS, carte, panneaux, etc.). Un paysage enneigé m'apparaît impraticable si je ne suis pas chaussé de skis. Le piéton qui forme le projet de se promener dans une ville comme Los Angeles ou comme Brasilia réalise bien vite à quel point cette intention est, dans ces milieux, tout à fait incongrue. Il peut surtout faire l'expérience d'une étrangeté du paysage et des infrastructures. Ces villes ont en effet été construites par et pour l'automobile. Il n'y a jamais de ville et d'infrastructures sans urbanistes, architectes et décideurs politiques... mais l'effectivité de leurs projets et de leurs valeurs concernant *ce que doit être une ville* est parfaitement impossible sans concrétisation matérielle et technique, et les effets de cette concrétisation échapperont en grande partie à leurs plans et anticipations (c'est ce que nous appellerons plus loin *l'avance de la technique*): des effets inattendus, des détournements et des bifurcations apparaîtront. Les infrastructures routières urbaines (ponts, échangeurs, tunnels, etc.) offrent par exemple des opportunités (*affordances*, terme anglais forgé par James Gibson et repris par Don Norman) aux exclus de la planification (sans-abris): se regrouper, s'abriter, se réchauffer, etc.

- L'expérience de la *durée*, du temps qui passe, mais aussi du passé et de l'avenir dépend de techniques de mesure du temps, mais aussi de techniques de projection et de mémoire. Le calendrier ou l'agenda permet de spatialiser le passé et l'avenir, de se projeter et de se souvenir. Des instruments comme le cadran solaire, le sablier, l'horloge mécanique ou l'horloge atomique ne mesurent pas un temps unique qui leur préexisterait : il n'y a pas de temps universel sans conventions et techniques de synchronisation, dont les exigences de précision dépendent des instruments de mesure dont nous disposons. Ce temps techniquement constitué a permis de désolidariser les activités humaines d'une variabilité naturelle (durée d'ensoleillement quotidien). L'organisation et la standardisation du temps de travail des ouvriers, au XIX^e siècle, doivent ainsi beaucoup aux horloges publiques – comme les premières horloges mécaniques en Europe, dès le XIV^e siècle, ont généré un passage de temps pluriels et variables à *un* seul temps divisible en parties égales et mécaniquement mesurables, temps abstrait et conventionnel qui deviendra universellement accepté (figure 1) : ce ne sont plus alors les activités qui définissent une multitude de temps concrets vécus ; ces activités prennent toutes place dans un seul temps objectif (Mumford 2016).
- Les relations concrètes entre sciences et techniques ne se laissent pas penser selon le schéma de la technique comme science appliquée. Contre cette vision, il ne s'agit pas seulement de rappeler que des questions ou problèmes techniques *motivent* la recherche scientifique (pas de thermodynamique sans volonté d'optimiser le fonctionnement des machines à vapeur, pas de théorie de la relativité restreinte sans problème de



FIGURE 1. Différentes activités humaines, un temps objectif (photographe : Carlos Goff/ Burst).

la synchronisation des horloges dans l'Europe des chemins de fer et des télégraphes transatlantiques – Galison 2006) et que de nombreuses innovations techniques ne doivent *rien* aux sciences (l'inverse peut aussi être vrai) : l'activité scientifique – du griffonnage de notes aux expérimentations les plus complexes et les plus coûteuses, en passant par le recueil et le traitement de données – ne peut se faire sans techniques. Pas d'astronomie nouvelle (Galilée 1609) sans lunette astronomique, pas de théorie cellulaire de la vie sans microscopes, pas de physique nucléaire sans accélérateurs de particules et encore plus fondamentalement pas de mathématiques sans manipulation de cailloux (*calculi*) ou de géométrie sans inscriptions de formes dans l'espace.

- Comme l'a montré Jack Goody, l'écriture n'est pas un instrument de notation ou d'expression du langage ; elle n'est pas *seulement* ce qui est rendu possible par des conditions matérielles : elle est aussi et surtout une *technologie de l'intellect* (Goody 2007). L'écriture nous permet de spatialiser et d'objectiver nos pensées et nos discours, d'en faire des objets de critique et de partage, en les soustrayant au flux temporel de l'oralité et de la pensée. Elle permet également un accroissement et un enrichissement du savoir en permettant de le stocker, de l'accumuler.
- La numérisation de nombreuses activités (acheter, communiquer, travailler, se déplacer, s'informer, etc.) s'accompagne intrinsèquement de pratiques de *recueil*, de *stockage* et de *partage* des données, mais aussi de *traçage* et de *profilage* qui rendent possibles de nouvelles formes de capitalisme (capitalisme cognitif – Moulrier Boutang 2008 – ; capitalisme de surveillance – Zuboff 2020) et de nouvelles conceptions du vivre ensemble : la confusion entre le droit à la sûreté et l'exigence de sécurité, ou encore le passage d'une politique de *prévention* de certains crimes et délits à une stratégie sécuritaire de *prédiction* et d'*anticipation* des passages à l'acte (figure 2).

L'histoire des transformations humaines est ainsi indissociable de transformations techniques. L'historien Marc Bloch écrivait :

Raconter le combat sans les armes, le paysan sans la charrue, la société entière sans l'outil, c'est assembler de vaines nuées (Bloch 1963, p. 838).



FIGURE 2. Quelle expérience de l'espace public lorsque (a) on sait que l'on peut être vu et que nos actions sont enregistrées, (b) on ne peut pas voir si quelqu'un nous voit présentement? (Photo CC0.)

Et le philosophe Langdon Winner :

Ce que nous appelons « technologies » sont des manières de construire l'ordre dans notre monde. Consciemment ou inconsciemment, délibérément ou par inadvertance, les sociétés se structurent par des technologies qui influencent la manière dont les gens se rendent au travail, communiquent, travaillent, consomment, etc. pendant très longtemps (Winner 1992, p. 76).

Cette vision de la technique nous permet de voir et de comprendre combien des activités comme (se) soigner, s'informer, habiter, se déplacer, s'organiser ou travailler se déploient et se transforment en fonction des techniques que nous mobilisons et que nous avons à notre disposition. L'introduction de l'intelligence artificielle dans la ville (« *smart cities* », véhicules autonomes), le foyer (« domotique »), la gestion énergétique (« *smart grid* ») ou la médecine (médecine 2.0) transforme ce que *signifient* « soigner », « habiter », « se déplacer », et ce qui est en jeu dans ces expériences. Cette introduction apporte aussi de nouvelles formes de dépendance, d'opacité et de bêtise.

Après l'avoir illustrée par quelques exemples, il s'agit maintenant de mieux comprendre ce qu'implique cette idée de constitutivité

technique lorsqu'il s'agit de penser nos milieux. Pour ce faire, nous allons la contraster explicitement avec d'autres approches des techniques : le déterminisme et l'instrumentalisme (section 2), la logique de la substitution et celle du solutionnisme (section 3). Cette notion nous permettra enfin, dans la section 4, de comprendre de quelle façon on peut dire que si la technique excède ce que nous voulons ou pensons en faire, ce n'est pas parce qu'elle serait hors de nos milieux. Au contraire : pour qu'une technique reconfigure nos fins et nos valeurs en *ouvrant* notre milieu, il convient de renoncer au fantasme d'une détermination du milieu par la technique.

2] La constitutivité de la technique : ni cause ni effet

Originellement, dans la littérature philosophique, «constitutivité» renvoie à un *faire apparaître* ou à un *faire émerger* (Steiner 2010). Dire que la technique est constitutive de nos milieux et de l'expérience humaine, cela signifie que l'on ne peut penser et problématiser ce que sont ces milieux et cette expérience sans prendre en compte la façon dont les techniques les font advenir *de l'intérieur*. La technique n'est pas anthropologiquement *déterminée*, au sens où elle serait le produit d'intentions, de fins, de projets fixés par un humain indépendant de la technique. Mais elle n'est pas pour autant in-constituée, pure force déterminante qui serait *hors sol* : tout comme l'humanité, la technique n'existe pas en elle-même. Il n'y a pas lieu de les opposer, et plus fondamentalement de les séparer. Toute technique ne peut d'ailleurs fonctionner qu'au sein d'un *réseau* d'autres techniques, mais aussi d'institutions : pas d'automobiles sans routes, sans carburant, sans code de la route, sans permis de conduire, etc. Un objet technique n'est jamais seul : il s'accompagne d'un réseau d'autres objets, mais aussi d'autres humains, de modes d'organisation et donc de davantage de techniques. Si nous voulons dépendre (dans le sens de l'habilitation) des techniques, nous devons être mobilisés dans la vie des objets techniques : produire, réparer, entretenir, détruire, stocker, gérer, démanteler, décontaminer, alimenter en énergie, etc. Pour faire cela, nous avons toujours besoin de plus de techniques *et* de plus d'agents (historiquement, pensons aux conséquences de la sédentarisation et de l'apparition de l'agriculture animale et céréalière – Scott 2019). Constitutif, l'objet technique ne porte pas dans sa seule matérialité ou formalité

des tendances qui détermineraient ses trajectoires dans le milieu. La *constitutivité* est une relation qui n'est pas à confondre avec la relation de *causalité*. Dans la relation de causalité, un événement (la cause) est antérieur à un autre événement (l'effet), qu'il produit *nécessairement* ou encore de façon *déterminée* (si certaines circonstances ont été fixées à l'avance et demeurent, en tant qu'arrière-plan). Dans la constitutivité, le constituant ne produit pas ce qu'il constitue en lui préexistant, et en le déterminant : le constituant et le constitué s'entremêlent dans des circonstances ou des situations qui ne sont jamais closes.

Pour le déterminisme, la technique est *cause* des milieux : elle en est séparée, et nous pourrions déterminer *a priori* les effets de l'innovation technique sur les milieux. Le déterminisme considère qu'il existe des lois ou des nécessités en vertu desquelles l'occurrence de Y doit suivre l'occurrence de X. Le progrès technique suit une trajectoire unilinéaire et unidimensionnelle, de la technique vers la société, avec un but toujours fixé : l'imposition de la technique et de ses principes. Le déterminisme par la technique présuppose une séparation entre la technique – le déterminant – et la société – le déterminé, et donc bien souvent la thèse de l'autonomie de la technique : la technique se transforme et fonctionne à partir de sa propre logique qui échappe au contrôle d'autres forces humaines (sociales, politiques, industrielles, etc.). On peut se rappeler la formule de Marx : « le moulin à bras vous donnera la société avec suzerain ; le moulin à vapeur, la société avec le capitaliste industriel » (Marx 1996, p. 162). Ce déterminisme aboutit à une absolutisation de la technique qui manque de voir à quel point le déploiement d'une technique requiert autant qu'il reconfigure des *agencements* socio-politiques et des conditions culturelles. Une innovation technique ne développe en effet jamais à elle seule ses effets constitutifs. « L'efficacité » ou « l'utilité » d'une technique ne peuvent s'évaluer qu'à l'intérieur d'une échelle de valeurs qui suppose un monde antérieur à la technique en question. Supposément contraires, le *technolâtre* et le *technophobe* adhèrent en réalité tous les deux à ce déterminisme, en y associant des appréciations différentes : pour le premier, la toute-puissance de la technique fait que rien ne *doit* l'arrêter (voir notamment le solutionnisme discuté plus loin) ; pour le second, rien ne *peut* malheureusement plus arrêter le développement technique.

Cette intrication entre la technique et ces agencements ne doit pas mener à un écueil symétrique à celui du déterminisme par la technique : la détermination de la technique par le social et l'humain, ou encore *instrumentalisme*. La technique serait un *effet* : le résultat d'une intelligence antérieure, ou encore une construction sociale par les usages. Ici aussi, c'est un modèle causal qui prévaut : le milieu, comme somme de comportements individuels, produit la technique. La réalité de la technique s'épuiserait dans ce qu'en font les agents. On ne voit alors pas à quel point nos usages – nos façons de faire – sont structurés par les techniques (Steiner 2017).

La constitutivité n'est pas non plus une relation de *conditionnement* : la technique mettrait en forme ou emballerait nos milieux, toujours de l'extérieur. Au contraire : pour être médiateur et donc constitutif, l'objet technique intègre la concrétion de différentes propriétés : économiques, sociales, culturelles, etc. La constitutivité repose sur les primats des *relations* entre l'humanité et la technique : il n'y a pas d'abord l'une ou l'autre, qui produirait l'autre, ou qui serait mise en rapport avec elle. Humanité et technique se développent ensemble dans des situations d'*enchevêtrement* (Ian Hodder), de *transduction* (Gilbert Simondon) ou de *transaction* (John Dewey) : chacune de ces notions considère que ce sont les relations qui sont premières ; les termes adviennent *par* et *dans* les relations, qui forment un *tissu sans couture* (*seamless web*, Thomas Hughes). Si la technique est un facteur constitutif de ce qu'est être humain et d'habiter ce monde comme nous le faisons, c'est parce qu'*en même temps* cette technique se transforme dans nos pratiques. Si la technique est constitutive, c'est parce qu'elle est aussi, toujours déjà, *constituée*, au sein d'une tradition historique, empreinte d'une valence, d'un sens et d'une normativité, qui *excèdent* la technique sans cependant la *déterminer*. Cette tradition requiert d'ailleurs la matérialité et l'inscription de la technique pour être, entre autres, *partagée, transmise et efficiente*.

Il n'y a aucune exclusivité anthropologique du fait technique : de très nombreuses espèces animales non humaines déploient une intelligence technique (Lestel 2001). Il ne s'agit donc pas de dire que le genre *Homo* a été le premier à fabriquer ou à utiliser des outils, ou certains types d'outils. Les outils de pierre de Lomekwi remontent à 3,3 millions d'années : ils sont l'œuvre d'un homininé,

mais lequel? Assurément pas un représentant du genre *Homo*. L'important est plutôt de comprendre que toute transformation au sein du genre *Homo*, et encore plus précisément toute évolution cognitive, organisationnelle et culturelle au sein de l'espèce *Homo sapiens* a pu se baser sur des transformations techniques, et notamment sur des cultures techniques spécifiques (acheuléenne, levalloisiennes, moustériennes, solutréen, etc.). Ce qui est remarquable dans le cas du genre *Homo*, c'est le caractère récursif de l'agir technique sur ce que signifie *devenir* et être humain (Ihde & Malafouris 2019).

La constitutivité accorde un pouvoir de transformation et de structuration à la technique sur nos milieux, mais ce pouvoir va de pair avec une inscription de la technique dans le milieu. Pour être *constituante*, la technique doit aussi, nous l'avons dit, être *constituée*: nous restons dans le milieu (la technique ne le transcende pas, et le milieu ne sécrète pas la technique), mais il faut voir ici plusieurs relations à l'œuvre. Ces relations ne sont pas agissantes selon les mêmes rythmes et temporalités (voir le chapitre 5). L'apparence d'une liberté de choix et d'usage d'un instrument isolé relève d'une temporalité mince, celle de l'expérience de l'utilisateur. À l'échelle sociale et historique, celle du temps épais, se trouvent plutôt des réseaux de techniques dont dispose une société, en relation de solidarité avec d'autres valeurs. L'enchevêtrement ne respecte a priori aucun principe de symétrie: nous ne dépendons pas des choses comme elles dépendent de nous, et c'est pour cela qu'il y a constitutivité, mais aussi des phénomènes d'enfermement dans certaines trajectoires. La constitutivité de la technique pour l'humanité prend la forme de deux types indissociables de dépendance: la dépendance peut aller dans le sens de l'habilitation et de l'ouverture de possibles (la technique habilite nos manières de nous nourrir, de nous organiser, de mémoriser), mais aussi de l'instauration de contraintes, d'investissements et de nécessités (ce faisant, nos manières de faire deviennent dépendantes de certaines techniques qui limitent notre champ de possibles et de mises en place d'alternatives, cf. ce que l'on appelle en histoire des techniques les situations de *lock in* et de dépendance du sentier, et la notion de «monopole radical» d'une technique proposée par Ivan Illich).

3] Solutionnisme, substitution et suppléance

Une logique de *substitution* repose sur la conviction qu'une technique peut *remplacer* une autre technique, ou une action non-technique. La liseuse électronique peut *remplacer* le livre comme le robot d'assistance peut *remplacer* le personnel soignant. Raisonnant à partir de critères fonctionnels étroits, cette logique de substitution est aveugle à la constitutivité : le monde, l'expérience et les pratiques intellectuelles ouverts par la saisie de la liseuse électronique ne sont pas, ne sont plus ceux de la lecture du livre papier. Il y a certes un *gain* de nouvelles fonctionnalités et capacités offertes par le support (stockage, hypertexte, multitâches, etc.) mais aussi un *renoncement* à d'autres dispositions et qualités (unicité du support, non-distraktion par des sollicitations sur le même support, écriture manuscrite sur le support, etc.). Il n'y a pas de substitution mais une transformation de l'expérience et du milieu de la lecture. De même, les interactions affectives, linguistiques et sociales ouvertes par la relation avec un robot ne sont pas, ne sont plus, celles engagées dans la relation avec un humain. Historiquement, les annonces de substitution n'ont également rien d'évident. Décrivent-elles un hypothétique ordre des choses dans les sociétés humaines, ou s'agit-il de discours performatifs ? La « destruction créatrice » (Joseph Schumpeter) du capitalisme, par exemple, est souvent invoquée pour entériner et justifier les transformations de l'emploi (« Il n'y a pas d'alternative ! »). Il existe évidemment des cas de substitution (la laine de mouton a été très majoritairement remplacée par les fibres synthétiques), mais il n'y a là rien d'automatique. L'idéal de la « transition énergétique » procède par exemple comme si la découverte et l'exploitation de nouvelles sources d'énergie allaient suffisamment réduire la consommation des énergies fossiles : on sait pourtant à quel point le charbon n'a pas remplacé le bois, le pétrole n'a pas pris la place du charbon, le nucléaire n'a pas supprimé les besoins en gaz... La logique a plutôt été une logique d'*accumulation* : l'innovation technique, à nouveau, ne détermine rien, comme par exemple une logique de transition ou de substitution. Rappelons d'ailleurs que le charbon et le pétrole ne sont pas intrinsèquement plus efficaces que l'eau ou le bois : ces formes d'énergie sont plutôt plus favorables aux pouvoirs centralisés, étatiques et/ou industriels (Malm 2016). Un choix technique (énergétique en l'occurrence) s'ar-

ticule à un projet politique et économique qu'il contribue à reconfigurer (infrastructures, réseaux de dépendance) et à renforcer au détriment d'autres alternatives.

Une logique *solutionniste* estime que l'introduction ou la modification d'une variable technique suffit pour résoudre de nombreux problèmes apparemment non techniques : l'illettrisme, les émissions de gaz à effet de serre, la malnutrition en Afrique, le sentiment d'isolement social de nombreux séniors, les dissensus politiques, ou encore les problèmes organisationnels dans les entreprises sont des problèmes que l'on peut résoudre par la technique (respectivement : en fournissant des tablettes numériques aux collégiens, en construisant des puits stockant le carbone, en délocalisant des manufactures alimentaires, en installant des systèmes de téléassistance, ou en recourant à de l'intelligence artificielle). Or, bien souvent, l'introduction de la « solution » technique n'arrange rien au problème initial, elle peut même l'aggraver (bétonnons davantage pour construire des puits de carbone !), et génère surtout de nouveaux problèmes inattendus (par exemple : addiction numérique, déficits attentionnels, pollutions, dépendance à de nouvelles infrastructures techniques et à des formes opaques d'expertise, etc.). Le solutionnisme se propose d'injecter ou de projeter une technique sur un milieu malléable, pur réceptacle bénéficiaire de l'innovation technique. À rebours de cette vision déterministe, la logique de la constitutivité souligne que si une technique peut structurer, transformer ou encapaciter/habiliter des formes de vie, c'est en participant à un milieu. Cette participation à un milieu n'est pas garantie par le respect d'une méthode ou de procédures fonctionnelles, c'est même l'inverse : piloter à l'avance, formater et vouloir déterminer a priori une technique est la meilleure façon de l'empêcher d'ouvrir un milieu. Confondre le milieu avec le modèle que l'on en a ou avec un système, peut à tout moment transformer la technique en facteur de contrainte et de limitation des capacités des agents.

La constitutivité est à associer à la figure de la *suppléance* : à la différence de la substitution, la suppléance ne vise pas à remplacer ; elle introduit une transformation. La suppléance ne repose pas sur l'idée que la technique est, de façon nécessaire et suffisante, la solution : la transformation introduite par la suppléance ne devient une solution ou une amélioration éventuelle qu'en faisant milieu, en

ouvrant un milieu. *Ce faire milieu* n'est pas déterminable techniquement, à l'avance. Le milieu n'est en effet pas un système formalisé dont on pourrait exhaustivement définir les composants, les limites spatio-temporelles ou le devenir au moyen de technologies appropriées (capteurs, modèles, équations, calculateurs). Au contraire : modèles et représentations systémiques n'ont de sens et de valeur (prédictive, explicative, etc.) qu'à partir des intérêts et des projets poursuivis par les agents dans leurs milieux.

4] L'avance de la technique

Les fins visées au sein des activités techniquement médiatisées ne préexistent pas à ces médiations et ne peuvent être déterminées indépendamment de ces dernières. Un couteau peut certes se prêter à différents usages... mais de très nombreuses formes de pratiques humaines et de rapports à l'environnement et aux autres vivants dépendent constitutivement de l'usage de couteaux : sans couteaux et outils tranchants, pourrions-nous par exemple consommer de la viande (voir l'*encadré 1*) ? Les « moyens techniques » forment en réalité un milieu de vie qui inclut, reconfigure et transforme des fins et des valeurs, si bien que toute technique est constitutive de nouveaux projets et d'une reconfiguration du champ de l'expérience. La technique est simultanément un opérateur d'ouverture et de restriction de nos possibilités d'action et de pensée. Utiliser, choisir une technique, c'est s'ouvrir à un mode d'expérience particulier, et donc renoncer à d'autres modes d'expérience, en prenant connaissance de ce renoncement – sur le mode d'un sentiment de perte – *après coup*. En raison de cette constitutivité de la technique dans nos milieux, il y a une avance de la technique sur ce que nous pensons et voulons faire d'elle lorsque des « innovations techniques » apparaissent dans nos vies : nous raisonnons à court terme en invoquant l'utilité et la satisfaction de besoins, alors que sur les moyens et longs termes ce sont de nouveaux désirs, de nouvelles fins et de nouvelles contraintes qui apparaissent (voir la notion d'exaptation dans le *chapitre 5*). La technique possède une agentivité (elle fait faire), un pouvoir de perturbation qui est plus radical que les usages que nous voulons ou pensons en faire. Les effets *imaginés* ou *attendus* d'une technique *avant son déploiement* ne seront jamais identiques à ses effets *réels*. Nous raisonnons trop

souvent en nous limitant aux effets fonctionnels d'une technique, sans être en mesure d'appréhender la radicalité des transformations structurelles qu'elle amènera dans le milieu. Lorsque je spécule sur les effets d'une technique avant son déploiement dans un milieu, cette dernière est déposée, face à moi (sur l'établi, sur l'écran, dans l'atelier). Elle n'est donc pas considérée en tant que constituante, agissante dans le milieu des agents. Je ne peux donc voir ses effets structurants, bien plus radicaux que les conséquences fonctionnelles de son usage. Ces effets, je ne peux les voir que lorsque la technique est au travail, lorsqu'elle est saisie dans un milieu. Je ne peux donc faire comme si je connaissais par avance tout ce que va constituer l'objet technique lorsqu'il sera constituant. Et lorsque j'imagine le milieu dans lequel elle sera saisie, les biais peuvent être nombreux : les concepteurs du projet *One Laptop per Child* pensaient que les enfants sud-américains, africains et indiens étaient avant tout en manque d'ordinateurs portables, et qu'une fois munis de ces ordinateurs, ces enfants allaient alors *coder*, étudier et *interagir*. Les concepteurs se représentaient ici ces enfants et leurs aspirations sur le modèle de leurs propres enfants : des filles et fils de cadres du Medialab au MIT, passionnés de code et de nouvelles technologies (Ames 2019, voir chapitre 1).

La technique transforme très souvent le milieu d'une façon inattendue, à rebours des attentes et espérances initiales. Deux autres exemples permettent d'illustrer cela. Le premier exemple (VAR) a déjà été rencontré dans le chapitre 1. Soit l'opinion suivante : «L'arbitre sur un terrain de football n'a pas une vision objective des faits de jeu, ce qui aboutit à des injustices. Ses décisions peuvent être aidées ou assistées par des vidéos (VAR).» On présume ici que la technologie vidéo est nécessairement plus fiable, juste et objective que la perception d'un acteur embarqué dans le jeu (l'arbitre). Ce qui est constatable par l'arbitre est sanctionnable, mais l'arbitre ne peut pas tout constater : on pense alors qu'avec la technologie vidéo, tout est constaté et donc sanctionnable. Tout fait de jeu devient alors conditionnel, sous la menace d'un *replay* et d'une sanction/annulation par l'œil de la technologie. Pourtant, ce que nous fournit la technologie – des images, des ralentis, des scènes sous un certain angle, sans exhaustivité – ne sont jamais des faits *déjà arbitrés* ou des faits qui s'arbitreraient d'eux-mêmes. Des questions d'inter-

prétation et d'appréciation subsistent fondamentalement. Dans son oreillette, l'arbitre est conseillé par des collègues qui ne sont pas sur la pelouse, et qui perçoivent de façon réduite la physionomie du match – variable fondamentale dans l'appréciation de la situation par l'arbitre lorsqu'il applique le règlement sur le terrain. Avec l'assistance vidéo, les matchs sont plus souvent interrompus ; les situations litigieuses ne sont pas toujours levées – et quand elles le sont, c'est toujours à partir d'interprétations discutables et hâtives (il y a de plus en plus d'arrêts du jeu). Dans le *replay* vidéo, les actions sont ralenties à l'excès, et transformées en faits comportementaux (le hors-jeu s'apprécie à l'orteil près) dont on n'aperçoit plus toujours le caractère *intentionnel* (par exemple pour les fautes de main). Bref, l'assistance vidéo à l'arbitrage ne résout pas ce qu'elle promettait de résoudre – ou si peu. Plus fondamentalement, elle transforme le déroulement du jeu et la perception que nous en avons.

Le second exemple concerne l'ubérisation de l'économie et des services. L'utilisateur peut penser : « Génial, il existe enfin une application qui me permet de trouver directement un chauffeur particulier pour me déplacer en ville, avec un tarif fixé à l'avance et sans passer par la corporation des taxis, et une application qui permet à mes courses commandées en ligne d'être livrées à domicile en une demi-heure. » On limite ici le pouvoir d'une technique à ses effets fonctionnels et individuels. On manque d'envisager la façon dont cette technique – et plus généralement le numérique – est solidaire d'une nouvelle forme d'économie, d'emplois prolétariés mais aussi de relations aux autres et au milieu (évaluation des prestations, circuits de livraisons, apparition de *dark stores* et de *dark kitchens* en centre-ville, transformation des campagnes en lieux de support et de stockage logistiques).

Toute société humaine est en mesure de *réguler* son rapport aux techniques, en invoquant différentes valeurs : sécurité, tradition, cohésion sociale, respect de la personne, etc. Un particulier n'a pas le droit de posséder un lance-missiles à son domicile ou d'enfourer des déchets nucléaires dans son jardin. Un laboratoire de biotechnologie ne peut procéder à des tentatives de clonage humain. Mais, sur une échelle de temps long, toute société s'est construite en privilégiant certaines voies techniques au détriment d'autres voies techniques, cela sans être en mesure de savoir *au départ* que cela

allait les mener là où nous sommes aujourd'hui. Domestication du feu, agriculture céréalière, exploitations des forêts, des mines, et des océans : les *effets* de ces techniques dans l'histoire et dans nos vies sont sans commune mesure avec les utopies qui ont pu accompagner leur introduction ou leur déploiement, y compris l'utopie d'un *progrès par la technique*. Toute ouverture technique se fait au détriment d'autres possibilités ; son développement peut engendrer des contraintes (produire, réparer, entretenir, détruire, stocker, gérer, démanteler, décontaminer) mais aussi des formes d'asservissement et ultimement de retournement contre la finalité initiale associée à la technique. Massif et systématisé, l'usage d'une technique peut donner lieu à ce que le philosophe Ivan Illich (1973) appelait un « seuil de contre-productivité » : la technique n'est plus facteur d'encapacitation ou d'habilitation, elle devient obstacle et contrainte asservissante. Vendue comme un moyen de transport individuel permettant de nous déplacer « rapidement », la voiture polluée (production, usage, abandon). Les embouteillages nous ralentissent. Les coûts d'achat, d'énergie et d'entretien du véhicule représentent une part non négligeable de nos revenus, et donc de notre temps de travail. Privés de véhicule (suite à une panne, par exemple), nous ne pouvons plus nous déplacer dans un espace et vers des lieux qui ont été conçus par et pour la voiture (banlieues résidentielles, périphéries, zones commerciales et industrielles, etc.) (figure 3).

5] Conclusion

Pour paraphraser Leroi-Gourhan, un homme (au sens générique) c'est une certaine manière de fabriquer, d'utiliser et d'être affecté par des objets (Leroi-Gourhan 1964). Une autre manière de dire cela est que chez les humains, la technique n'est pas un domaine d'activités distinct, qui interagirait ponctuellement avec d'autres domaines, en fournissant des solutions ou des facilitations : elle structure et habilite toutes nos activités, notamment organisationnelles et sociales. Nous faisons des choses qui nous font. En changeant le monde et en faisant, nous transformons la manière dont nous faisons l'expérience du monde et de notre agir, et la manière dont nous en faisons sens. La technique n'est pas d'abord un objet d'expérience et de connaissance ; c'est un mode d'expérience du monde et un opérateur de constitution de nos milieux.



FIGURE 3. Vivre et se déplacer sans voiture dans un milieu configuré par et pour l'automobile (photographe: Marcelo Colmenero, licence Creative Commons).

Pour aller plus loin

STIEGLER Bernard (2004), *Philosopher par accident. Entretiens avec Élie During*, Galilée.

Une introduction accessible à l'œuvre d'un philosophe contemporain incontournable lorsqu'il s'agit de comprendre ce que la technique fait à l'humain, à la connaissance et à la société.

MALAFOURIS Lambros (2013), *How Things Shape the Mind. A Theory of Material Engagement*, MIT Press.

Conjuguant archéologie, anthropologie et sciences cognitives, un livre développant une approche très claire de la constitutivité technique de l'esprit humain.

DEBRAY Régis (1991), *Cours de médiologie générale*, Gallimard, leçons 7 et 8.

Deux exposés très accessibles sur la manière dont les supports matériels conditionnent les formes de communication et de connaissance. Cette lecture peut être prolongée par la lecture suivante :

BACHIMONT Bruno (2010), *Le Sens de la technique. Le numérique et le calcul*, Les Belles Lettres/Encre Marine.

Cet ouvrage traite notamment de la façon dont les systèmes et les supports *numériques* révèlent et renouvellent des questions fondamentales sur les relations entre technique et connaissance.

Leroi-Gourhan André (1943), *L'homme et la matière*, Albin Michel.

Leroi-Gourhan André (1945), *Milieu et techniques*, Albin Michel.

Ces deux ouvrages constituent une bonne introduction à l'œuvre d'un penseur majeur des techniques et de la culture.

Bibliographie

- AMES Morgan (2019), *The Charisma Machine: The Life, Death and Legacy of One Laptop per Child*, MIT Press.
- BACHELARD Gaston (2002), « Noumène et microphysique » [1931], in Gaston Bachelard, *Études*, Vrin, p. 11-22.
- BLOCH Marc (1963), *Mélanges historiques*, EHESS.
- GALISON Peter (2006), *L'Empire du temps. Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*, Gallimard/Folio.
- GOODY Jack (2007), *Pouvoirs et savoirs de l'écrit*, La Dispute.
- HACKING Ian (2004), « Est-ce qu'on voit à travers un microscope? », in Sandra Laugier & Pierre Wagner (dir.), *Philosophie des sciences*, t. 2, Vrin, p. 238-274.
- IHDE Don & MALAFOURIS Lambros (2019), "Homo faber Revisited: Postphenomenology and Material Engagement Theory", *Philosophy & Technology* 32, p. 195-214.
- ILLICH Ivan (1973), *La Convivialité*, Seuil.
- JACOB Christian (1992), *L'Empire des cartes. Approche théorique de la cartographie à travers l'histoire*, Albin Michel.
- LEROI-GOURHAN André (1964), *Le Geste et la parole, I, Technique et langage*, Albin Michel.
- LESTEL Dominique (2001), *Les Origines animales de la culture*, Flammarion.
- MALM Andreas (2016), *Fossil capital. The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso.
- MARX Karl (1996), *Misère de la philosophie* [1847], Payot.
- MOULIER BOUTANG Yann (2008), *Le Capitalisme cognitif. La nouvelle grande transformation*, Amsterdam.
- MUMFORD Lewis (2016), *Technique et civilisation* [1934], Parenthèses.
- PLUMMER Thomas et al. (2023), "Expanded geographic distribution and dietary strategies of the earliest Oldowan hominins and *Paranthropus*", *Science* 379, 6632, p. 561-566.
- SCOTT James C. (2019), *Homo Domesticus. Une histoire profonde des premiers Etats*, La Découverte.
- SIGAUT François (2013), *Comment Homo devint faber. Comment l'outil fit l'homme*, CNRS Éditions.

STEINER Pierre (2010), « Philosophie, technologie, cognition », *Intellectica* 53-54, p. 7-40.

STEINER Pierre (2017), « L'usage : quelques modes d'emploi », *Cahiers COSTECH* 1.

WINNER Langdon (1992), *Autonomous Technology: Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*, MIT Press.

ZUBOFF Shoshana (2020), *L'Âge du capitalisme de surveillance*, Zulma.

La constitutivité technique : approche expérimentale

Charles Lenay

Le milieu technique est constitutif de nos activités, y compris de nos façons de penser, de percevoir, de mémoriser, d'agir et d'interagir. Mais par quels processus les objets et environnements techniques rendent possibles ces activités cognitives ?

Ici, on veut éclairer cette question avec quelques études de psychologie expérimentale qui pourraient conduire à un programme de recherche général sur la constitutivité technique de notre perception et de nos activités intellectuelles. Cette recherche en sciences cognitives ne vise donc pas à étudier le fonctionnement des agents artificiels complexes, comme les robots ou les logiciels qui se prétendent « intelligents », mais plutôt de comprendre la façon dont les techniques entendues comme instruments de nos actions (Rabardel 1995) façonnent notre expérience vécue.

Comme on le répète tout au long de ce manuel, dans la mesure où la nouveauté technique est constitutive, il est impossible de déterminer d'avance toutes ses conséquences. Cependant, l'effort de comprendre les mécanismes de cette constitution n'est pas vain. Même si une recherche ne peut être achevée, elle peut toujours être continuée ! Et l'on comprendra toujours un peu mieux, ce qui nous arrive.

Par exemple, d'après l'anthropologue Jack Goody, la découverte des techniques de l'écriture a non seulement transformé notre façon de conserver et transmettre les paroles passées, mais elle a aussi rendu possibles des opérations cognitives nouvelles. Considérons la recherche d'un rangement des éléments chimiques. Depuis le

XVIII^e siècle, avec Lavoisier par exemple, on cherche à mettre à plat, sur une feuille de papier, la liste des corps simples qui composent la matière. Au XIX^e siècle beaucoup de chimistes cherchent un ordre dans ce que l'on conçoit de plus en plus comme étant différents types d'atomes. On voudrait les ranger en fonction de leurs propriétés (masse atomique, caractéristiques physiques, combinaisons possibles avec d'autres atomes). C'est la mise en forme suivant un tableau proposé par Mendeleïev, le tableau périodique des éléments, qui se révélera la plus productive. En effet, dessiner et remplir un tableau de données bidimensionnel force à une mise en ordre des idées et des choses. Surtout cela produit la nécessité de remplir les cases qu'il définit. Le tableau de Mendeleïev était incomplet, mais cela engageait un programme de recherche pour trouver les atomes manquants suivant les caractéristiques définies par les cases vides. C'est ainsi que l'on découvrira par exemple quelques années plus tard, le gallium. Remarquons que cette aide à penser que représente un tableau se produit de façon commune pour tout un chacun dans une infinité de situations, par exemple quand on remplit son agenda dont chaque page est aussi un tableau suivant les jours et les heures.

Comment donc expliquer cette capacité d'une technique d'écriture à produire de nouvelles opérations intellectuelles? Comment une structure spatiale externe pourrait-elle porter une activité cognitive? On peut envisager deux façons de répondre. Soit représentationnaliste, soit énavériste.

Soit, il y a d'abord la perception du tableau et la construction de sa représentation dans le cerveau pour ensuite réaliser un raisonnement comme calcul dans un système interne de traitement de l'information. Mais qu'est-ce qui dans le système représentationnel forcerait à considérer l'existence d'une case vide? Et pourquoi cela devrait-il suggérer une recherche et guider l'activité cognitive? Le problème de l'efficacité d'une spatialisation de l'information n'est pas résolu mais simplement reporté à l'intérieur du cerveau. On ne comprend pas comment des relations spatiales seraient capables de guider un processus de raisonnement. D'ailleurs, si toute l'activité cognitive était produite de façon interne pourquoi y aurait-il un développement historique de nos façons de penser qui semble bien lié à la disponibilité d'inscriptions externes?

Soit, la perception du tableau et l'activité cognitive résultent d'un engagement corporel dans le milieu matériel. Cette seconde approche en sciences cognitives est communément appelée 4E parce qu'elle considère que la cognition est *Embodied* (liée au corps), *Embedded* (inscrite dans une situation outillée concrète), *Extended* (étendue au-delà du corps) et *Enacted* (réalisée dans le couplage entre l'organisme et l'environnement qu'il définit). C'est cette approche, plus propice à rendre compte de la constitutivité technique, que nous adopterons dans ce qui suit. L'activité cognitive se déroulerait d'abord dans le couplage entre les organismes et leur environnement, même si elle peut parfois ensuite être internalisée dans les limites du corps.

Dans notre exemple, il faudrait donc expliquer comment le couplage avec le tableau tel qu'il est concrètement inscrit sur un support plan, devant les yeux et sous les mains, peut être constitutif en même temps, de sa perception et de l'opération intellectuelle qu'il guide. Pour comprendre comment lier ainsi perception et opération cognitive, il nous faut d'abord considérer un autre type de technique, particulièrement important, celui des outils que l'on peut saisir pour agir et percevoir. En effet, la prise en main d'un outil – un bâton, une pierre taillée ou un marteau, un vélo ou une voiture, des chaussures ou des lunettes – définit à chaque fois un champ perceptif spécifique. Voyons d'abord cela avant de revenir à notre tableau.

1] Saisie de l'outil et perception

Considérons tout d'abord un outil très particulier, et par cela même bien révélateur. Il s'agit d'un dispositif conçu pour les personnes aveugles, le TVSS (*Tactile Vision Substitution System*) développé par Paul Bach y Rita dans les années 1970 (Bach-y-Rita 1997). L'idée toute simple, presque naïve, consiste à remplacer la modalité sensorielle déficiente par une autre qui reste disponible. Ici le dispositif convertit l'information visuelle reçue par une caméra en un signal tactile sous la forme d'une matrice de 20 x 20 picots placés sur le dos ou sur le ventre (ou encore miniaturisée pour délivrer des stimuli électriques sur la langue). Ainsi l'image, réduite à 400 pixels, est projetée sur la peau (**figure 1**).

L'observation de l'apprentissage de ce dispositif est particulièrement intéressante. Si l'on présente diverses formes devant la

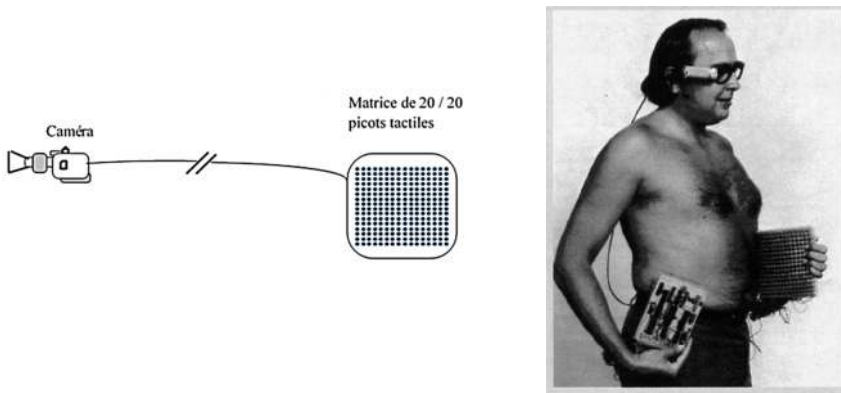


FIGURE 1. *Tactile Vision Substitution System*. Dans cette technologie l'image captée par la caméra installée sur une monture de lunette est simplifiée en une image de 400 pixels en noir et blanc (sans niveaux de gris). Elle est alors convertie en une «image tactile» constituée d'une matrice de 400 petits picots appliquée sur le ventre.

caméra posée sur une table, la personne aveugle (ou voyante les yeux bandés) ressentira des chatouillis sur la peau qu'elle tentera de reconnaître suivant les indications du formateur. Dans ce cas, les capacités de catégorisation sont extrêmement limitées et ne concernent que des formes simples de stimuli tactiles.

Si, au contraire, la personne se saisit de la caméra et peut explorer activement l'environnement, elle se révèle progressivement (15 heures d'entraînement tout de même) capable de reconnaître des formes complexes, y compris des visages ! Et surtout ce qui est tout à fait remarquable, cette capacité de reconnaissance de formes est accompagnée d'une mise à distance des objets perçus. Lorsqu'il explore la scène, l'utilisateur oublie la succession rapide des stimuli sensoriels sur sa peau au profit de la perception d'objets stables à distance devant lui.

Le TVSS est certainement un dispositif complexe, mais il est éclairant pour comprendre l'emploi de tout outil saisi, en tant qu'il modifie le couplage entre l'utilisateur et son environnement. On dispose ici d'une situation limite où l'on peut observer la bascule entre une situation initiale où le dispositif technique est présent mais pas encore maîtrisé ; et une situation fondamentalement différente quand après quelque temps d'un apprentissage actif ce dispositif est bien saisi, donnant à percevoir de nouveaux objets.

Pour comprendre plus précisément comment se produit cette bascule, on peut chercher à simplifier autant que possible le dispositif jusqu'à trouver les conditions minimales nécessaires pour qu'advienne la perception d'un objet situé dans un espace devant soi (Lenay & Steiner 2010).

2] Étude expérimentale minimaliste: le *Visual Glove*

Le dispositif de couplage le plus simple envisageable est certainement un récepteur (une simple cellule photosensible) qui déclenche un unique stimulus sensoriel (un stimulus tactile) en tout ou rien quand la lumière reçue passe un seuil fixe. Ce dispositif appelé «Visual glove» consiste donc en une cellule photoélectrique placée au bout de l'index de la main dominante et qui peut activer un petit vibreur que le sujet tient dans son autre main (figure 2) (Lenay *et al.* 1997, Siegle & Warren 2010, Chrisley *et al.* 2010). Le sujet, yeux bandés, peut librement déplacer la main sur laquelle est placé le récepteur. On présente alors des cibles lumineuses positionnées à différentes distances dans différentes directions. Le résultat assez étonnant est que très rapidement, en dépit de l'extrême pauvreté du stimulus, les sujets réussissent à localiser ces cibles, c'est-à-dire indiquer leurs directions et leurs distances approximatives.

Ceci se comprend facilement puisqu'en balayant la scène par les mouvements du corps, du bras et du poignet, le sujet peut viser la cible depuis différentes positions et orientations dans l'espace. Par triangulation, il peut alors deviner la distance de la cible.

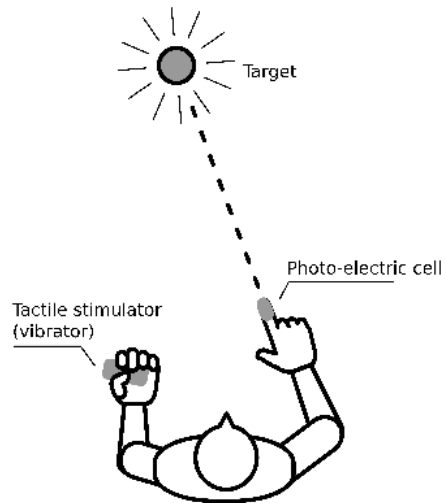


FIGURE 2. Le vibreur réagit en tout ou rien quand la lumière dépasse le seuil d'activation de la cellule photoélectrique qui capture la lumière incidente. Ainsi, contrairement aux 400 points de stimulation (correspondant à 400 points de l'image captée) du TVSS, il n'y a ici qu'un seul point de stimulation correspondant à un seul pixel.

Cependant, on observe que les sujets ne se contentent pas de quelques visées. Ils balayent sans cesse la scène avec leur bras et leur main de sorte que la stimulation apparaisse et disparaisse sans cesse. Au départ, ils perçoivent seulement les stimuli délivrés par le vibreur, mais rapidement, alors qu'ils réussissent mieux à contrôler la production de ces stimuli, ils les oublient pour plutôt percevoir la présence d'une cible à distance devant eux. Dès lors, la succession temporelle des stimuli reçus est comprise comme les «contacts» à distance avec une cible. Inversement, si les stimuli sensoriels sont délivrés artificiellement, indépendamment des mouvements de la cellule photosensible, il n'y a aucune perception distale mais seulement la perception des sensations tactiles proximales. La perception de la position d'un objet se réalise donc par son exploration réversible, quand le sujet est capable de contrôler ses stimuli sensoriels par ses actions. La cible est localisée en direction et en profondeur quand est maîtrisé le pointage dans sa direction. Chaque position de la cible correspond seulement à un invariant sensorimoteur, c'est-à-dire une loi liant les actions aux sensations qui reste stable alors que varient les actions et sensations. C'est une bonne illustration de ce que Kevin O'Regan et Alva Noë appellent une loi de contingence sensorimotrice (O'Regan & Noë 2001). Dans le cadre d'une approche écologique de la perception, cette loi est comprise comme un invariant des relations spatiales objectives entre les mouvements du capteur et la cible (Siegle & Warren 2010).

Dans ces conditions minimalistes, il est particulièrement clair qu'il n'y a pas de perception sans action puisque la donnée sensorielle est réduite à chaque instant à un stimulus en tout ou rien (un seul bit d'information). En effet, si le sujet s'immobilise, alors il n'y a plus de perception. Soit la stimulation est présente et donc constante. L'attention se trouve alors concentrée sur le vibreur et la perception de la cible disparaît. Soit la stimulation est absente, et la perception est au mieux un souvenir. La perception exige donc une activité permanente.

Mais reste à préciser les conditions pour que cette activité sensorimotrice puisse donner lieu à la perception de la distance. Ici, comme avec le TVSS, il faut expliquer la bascule, depuis la situation initiale d'une perception proximale des stimuli tactiles du vibreur sur la peau, vers la perception distale d'objets devant soi. Pour

cela, on peut encore simplifier la situation. On demande alors au sujet de rester debout immobile, bras et main tendus, avec pour seul degré de liberté les rotations haut/bas, droite/gauche du bras autour de l'épaule (figure 3a).

Dans cette condition, la perception des distances des cibles lumineuses disparaît. Il reste seulement la perception de leurs directions. Le sujet ne perçoit plus qu'un espace bidimensionnel sans profondeur.

Pour retrouver la perception d'une distance devant lui, il faut que le sujet dispose d'une possibilité d'action supplémentaire : pouvoir déplacer le centre de rotation dans la profondeur. Il faut par exemple que le dispositif de couplage lui donne le pouvoir d'avancer la position du capteur en tournant le poignet au bout du bras, ou bien le pouvoir de déplacer son corps sur le côté (figure 3b).

On peut décrire cet espace comme un groupe au sens mathématique, le groupe des transformations définit par la réversibilité des déplacements. La perception est une forme d'activité incarnée, dépendante d'un corps propre qui lui donne ses possibilités d'agir dans le monde (Merleau-Ponty 1945). Les dimensions de l'espace de perception dépendent des possibilités d'agir. Les outils que l'on utilise définissent ces possibilités d'agir, transforment le corps propre et ainsi constituent des champs perceptifs spécifiques.

Dans l'antiquité on pouvait concevoir que les étoiles étaient comme des points lumineux disposés sur une unique voûte céleste puisqu'il n'y avait pas moyen de se déplacer suffisamment sur le côté pour percevoir leurs distances (nous ne connaissons maintenant les distances et vitesses d'éloignement des étoiles que de façon indirecte par l'analyse ondulatoire de la lumière qu'on reçoit).

De même, on comprend que l'image que donne l'objectif photographique ou la caméra en haut de votre écran ou de votre smartphone, ne peut donner que des images bidimensionnelles. En effet, l'optique

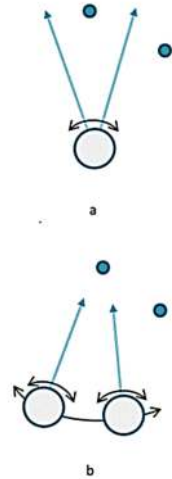


FIGURE 3. (3a) rotation seule. Le champ récepteur de la cellule photo sensible est une droite infinie en rotation autour de l'épaule ou du torse. Dans la situation (3b), on ajoute un déplacement du centre de rotation qui permet de s'avancer sur le côté dans la profondeur.

de la caméra donne seulement une ouverture angulaire, c'est-à-dire un accès à l'ensemble des orientations incidentes de l'information lumineuse. Si, en visiophonie on voulait percevoir en 3D le monde de l'interlocuteur, il faudrait que l'on puisse contrôler des translations de la caméra dans son espace.

L'espace de la profondeur est constitué par les déplacements réversibles du point de vue dans cet espace lui-même. Il en est de même dans les jeux vidéo. Si l'on ne peut se déplacer que par des translations haut/bas, droite/gauche on sera dans un l'espace bidimensionnel d'un jeu 2D. Mais si l'on dispose de rotations et de translations qui permettent d'avancer le centre de rotation, on sera dans un jeu 3D.

On peut tirer quatre leçons générales de ces quelques observations.

Première leçon : la perception spatiale est une activité.

Dans le cas du TVSS on a vu que pour percevoir et localiser des objets, il faut déplacer la caméra et ainsi provoquer le changement des stimuli tactiles. La perception s'explique par la maîtrise des relations entre les mouvements que l'on fait et les retours sensoriels que l'on reçoit. Par exemple, devant la barre d'un néon horizontal, un mouvement haut/bas de la caméra provoque la montée et la descente d'une ligne de picots sur la matrice alors que des mouvements droite/gauche ne provoquent pas de variations sensorielles. Le sujet perçoit cette barre stable devant lui alors que les stimuli sensoriels varient sans cesse suivant ses mouvements. Le contenu de la perception n'est donc pas le résultat de l'analyse et la représentation de configurations de sensations, mais plutôt la maîtrise de la façon dont changent ces configurations quand on déplace sa caméra. C'est un autre cas de «lois de contingence sensorimotrices» (Noë 2004) ou d'invariants de l'environnement (Gibson 2014).

Remarquons qu'il en est de même pour la vision naturelle. Si l'image sur notre rétine était immobile, elle disparaîtrait. Au contraire, ces stimuli varient sans cesse au cours des saccades oculaires (et même quand on croit avoir le regard fixe, il est encore agité de microsaccades) ce qui ne nous empêche pas, bien au contraire, de voir des objets stables devant nous.

Ces analyses de l'activité perceptive n'ont concerné que la localisation spatiale, mais on peut mettre en évidence la même activité pour la perception de formes (**encadré 1**).

Encadré 1. Tactos - Reconnaissance de formes

Pour étudier la capacité de reconnaissance de formes à travers un dispositif technique on peut utiliser un dispositif minimaliste dans la continuité directe du TVSS mais appliqué à l'exploration de l'espace bidimensionnel de l'écran d'un ordinateur (ou d'un smartphone). Il s'agit du système Tactos (figure 4) qui permet de «toucher» les formes numériques sur l'écran : quand le curseur rencontre un pixel coloré, il active un stimulateur tactile (petits picots d'une cellule braille électronique) (Hanneton *et al.* 1999).



FIGURE 4. Dispositif Tactos.

Le sujet a les yeux bandés.

Le stimulateur tactile est installé sous sa main libre, l'autre tenant l'effecteur (souris, stylet de tablette graphique, touchpad, etc.) qui contrôle le curseur à l'écran. Ce dispositif de suppléance perceptive permet ainsi l'exploration tactile d'une image numérique.

Dans sa version la plus minimaliste, le curseur correspond à un unique champ récepteur. Quand il croise un pixel coloré, il active un unique picot tactile. Même dans cette version on observe une capacité de reconnaissance de formes. Pourtant aucune forme n'est donnée d'un coup au système sensoriel comme le serait un pattern bidimensionnel appliqué sur la peau. Il n'y a qu'un champ récepteur, une seule sensation à chaque instant et donc aucune spatialité intrinsèque du signal d'entrée. Si les sujets réussissent à reconnaître des formes dans un espace, c'est seulement par une exploration active, en intégrant dans le temps leurs mouvements et sensations tactiles. Par la limitation de l'entrée sensorielle, on force un déploiement de l'activité perceptive dans l'espace et le temps sous forme d'une trajectoire qui peut dès lors être facilement enregistrée et analysée (figure 5).

On observe un balayage du contour de la forme qui se combine ensuite à un mouvement plus général de suivi de ce contour. La reconnaissance de formes simples comme des lettres, ne semble atteinte qu'au moment où le sujet est capable de combiner au geste de balayage une séquence dynamique d'ensemble correspondant

au geste d'écriture de cette forme. Quand la forme est reconnue, le «point de vue», c'est-à-dire le lieu à partir duquel est perçu l'objet, n'est plus le picot tactile mais la main qui contrôle l'effecteur (Ziat *et al.*

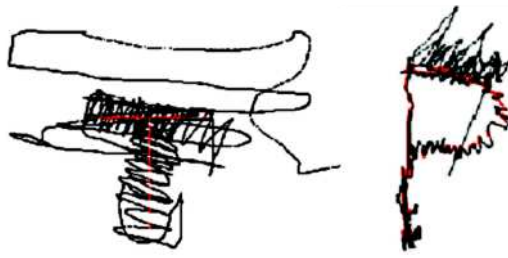


FIGURE 5. Exemples de trajectoires perceptives.

2005, 2007). Le petit balayage autour d'une variation sensorielle permet au sujet de situer la forme et en même temps de se situer relativement à elle.

Ici encore la perception n'est pas la réception (puis la représentation) d'une forme mais son énaction, sa construction active. La catégorisation des données perceptives en tant qu'elles s'intègrent à une forme connue se réalise par un geste de synthèse (Lenay 2006). Le schème d'assimilation correspond à une activité concrète, déployée dans l'espace des déplacements du sujet (Piaget 1936).

On peut alors aussi étudier ce qui se passe si l'on augmente la donnée sensorielle à chaque instant. Pour cela le curseur commande les déplacements d'une matrice de champs récepteur (3x3 ou 4x4) qui déclenchent l'activation d'autant de picots tactiles correspondants. En augmentant progressivement le parallélisme des champs récepteurs, on observe alors une internalisation partielle de l'activité perceptive. Il y a une économie de mouvement et de mémoire qui permet une perception plus rapide et plus précise. On peut parler d'un compromis entre augmentation de la richesse de l'entrée sensorielle et quantité de mouvement (Sribunruangrit *et al.* 2004). Cependant, il semble que le maintien d'une activité, même minimale, reste nécessaire (comme pour nos yeux qui en dépit de leurs millions de capteurs doivent pourtant sans cesse bouger).

Ce type de dispositif a aussi permis de multiples autres études, en particulier sur les interactions interindividuelles. En effet l'espace de l'écran peut être partagé par plusieurs utilisateurs qui pourront ainsi se percevoir réciproquement. Ceci permet l'étude des croisements perceptifs (deux activités perceptives de même genre se rencontrent), pour comprendre des capacités comme la reconnaissance d'autrui (Auvray *et al.* 2009), l'imitation (Froese *et al.* 2012), l'attention conjointe (Deschamps *et al.* 2016), ou les valeurs émotionnelles (Lenay 2010).

Seconde leçon : l'outil est un dispositif de couplage.

Le dispositif saisi définit un répertoire de sensations possibles (ici les picots tactiles) et un répertoire d'actions possibles (ici les mouvements de la caméra, ou du photorécepteur), ce qui implique un ensemble de lois de couplage avec l'environnement. L'ensemble des lois possibles liant les actions à leurs conséquences sensorielles correspond à l'ensemble des perceptions possibles avec ce dispositif. Cela peut être généralisé pour tout outil saisi : simple bâton, pierre taillée, marteau, paire de skis, voiture, tourne vis, rabot, lunettes, chaussure de ville, d'escalade, à talon, bottes, deltaplane, surf, combinaison de plongée, etc. À chaque fois l'outil saisi est un dispositif de couplage qui définit des répertoires d'actions et de sensations spécifiques, et donc un champ de perceptions possibles. Par exemple, sur mon vélo, à travers mes mouvements et les vibrations du guidon ou de la selle, j'assure un bon couplage avec mon environnement, couplage dont les invariants correspondent à la perception des gravillons sous mes roues, ou du bord du trottoir qui vient heurter ma jante. Ajoutons qu'en même temps qu'il est constitutif de contenus perceptifs chaque outil définit un champ d'opérations de modifications possibles du monde (**encadré 2**).

Encadré 2. Perception énative

L'approche énative de la cognition pose qu'elle se réalise dans le couplage entre l'organisme et son environnement (Varela 1989, Varela *et al.* 1993). Ainsi, la perception n'est pas une représentation interne du monde extérieur à partir des sensations reçues, mais plutôt la maîtrise d'un invariant, une loi suffisamment déterminée liant actions et retours sensoriels (**figure 6**).

Pour chaque espèce, suivant ses possibilités d'agir et de sentir, on peut définir l'ensemble de ces couplages sensorimoteurs possibles, c'est-à-dire l'ensemble des choses qui peuvent être signifiantes pour elle. C'est son monde propre. La mouette par exemple dispose d'un ensemble d'organes de relation pour l'action (ailes, pattes, bec) et pour la perception (yeux, plumes, odorat, ouïe) qui définissent son monde propre avec ses invariants signifiants pour elle parce que pouvant servir à son existence. Un monde propre bien sûr différent de celui d'un lapin, d'une girafe ou d'un ver de terre suivant leurs différents organes de relation. Dans le cas des êtres humains (et parfois de certains animaux) le couplage dépend aussi

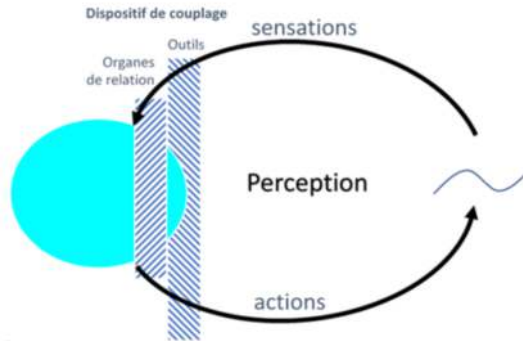


FIGURE 6. Couplage.

des outils saisis qui modifient les répertoires d'actions et de sensations. Depuis les premières pierres taillées jusqu'à nos smartphones ou notre souris d'ordinateur, chaque outil est comme un organe qui définit un champ perceptif spécifique.

La différence essentielle entre les organes naturels et les outils (organon en grec) est la séparabilité des outils (plus ou moins fréquente et facile suivant les cas, depuis la prothèse de jambe, jusqu'aux lunettes, la voiture ou la fourchette). Ainsi, contrairement aux animaux, les humains peuvent changer de monde propre suivant les dispositifs qu'ils saisissent (échasses, vélo, combinaison de plongée, etc.). En tant que produit social, les transformations techniques, leurs différenciations et variations se reproduisent à la vitesse de la mémoire culturelle qui n'a rien à voir avec l'extrême lenteur des variations héréditaires dans l'évolution biologique. En même temps, le milieu dans lequel l'organisme outillé interagit est lui-même artificiellement et historiquement modifié, ce qui contraint et guide la dynamique de couplage et donc aussi les perceptions possibles.

Troisième leçon : l'outil est transparent quand on s'en sert.

Remarquons que le TVSS qui au départ était très présent et encombrant devient, au fur et à mesure de l'apprentissage, de plus en plus transparent. L'utilisateur ne prête plus attention aux picots tactiles mais à l'objet qu'il est en train de percevoir devant lui. De façon générale, on ne perçoit pas ce qui sert à percevoir. On ne voit pas nos yeux, ni les stimuli sur notre rétine, ni nos nerfs optiques ou nos muscles oculaires. De même aussi, on ne voit pas nos lunettes quand on s'en sert... sauf si bien sûr elles sont sales, mais alors

justement elles nous empêchent de voir. Notre corps propre, c'est-à-dire notre corps en première personne dont on se sert pour agir et percevoir, est transparent pour nous. L'outil saisi peut alors être considéré comme une extension de ce corps propre. Quand je saisis un bâton pour explorer la surface du sol, ce n'est plus le bâton comme objet que je perçois, mais les aspérités du sol au bout de ce bâton. C'est ce que décrit fort bien la phénoménologie :

Le bâton de l'aveugle a cessé d'être un objet pour lui, il n'est plus perçu pour lui-même, son extrémité s'est transformée en zone sensible, il augmente l'ampleur et le rayon d'action du toucher, il est devenu l'analogie d'un regard (Merleau-Ponty 1945, p. 167).

L'approche minimaliste que nous avons adoptée permet de définir des effets de constitutivité dont on peut ensuite vérifier la généralité. Quand j'explore le sol, je suis au bout du bâton et non pas là où je le tiens. Je suis là où j'agis, là où je rencontre la résistance du sol ou repousse un objet (Dourish 2004). De même, dans le cas de la saisie de la souris d'ordinateur, je suis là où est mon curseur dans l'écran, là où il me permet de cliquer et écrire et non pas là où je tiens cette souris. Le dispositif de couplage formé par les moyens d'action comme le clavier, la souris ou la surface tactile, et par les possibilités sensorielles comme l'écran et les haut-parleurs, devient transparent au moment où notre attention se tourne vers les contenus et opérations que son usage permet de constituer. Cependant, contrairement à des dispositifs physiques de couplage direct avec l'environnement, ici le lien entre les actions et sensations passe par un calcul numérique. Cela ouvre une infinie diversité d'invariants et d'opérations suivant les algorithmes liant commandes et retour sensoriel. Dans le cas de systèmes comme le casque de réalité virtuelle on comprend bien que l'infinité des contenus perceptifs qu'il rend possibles dépend des règles de calcul implémentées définissant les images et sons reçus suivant les mouvements que l'on effectue avec le casque.

Quatrième leçon : les deux modes d'existence de l'outil.

Une propriété essentielle de l'outil consiste en la possibilité d'un basculement entre deux modes d'existence, « saisi » ou « posé ». Dans le mode « saisi » l'outil est constitutif et donc transparent. Dans le mode « posé », l'outil est constitué comme objet que je peux percevoir dans l'espace devant moi.

Quand je conduis ma voiture mon expérience oscille entre des moments où ma voiture est invisible puisque mon corps-propre s'étend jusqu'à mes roues qui me donnent à percevoir la route, et d'autres moments où la voiture est séparée de moi quand je prête attention au volant ou au tableau de bord, ou quand j'en descends pour la contempler de l'extérieur.

Quand il est saisi et utilisé, un outil est «intériorisé», et devient une partie du corps propre, presque au même titre que les organes biologiques de perception et d'action (Dotov *et al.* 2010). Mais, à la différence des yeux ou des mains, un outil existe aussi en mode «posé». C'est ainsi qu'il peut être fabriqué ou réparé, reçu ou donné. Dans la mesure où les personnes qui le fabriquent ne sont pas les mêmes que celles qui les utilisent, l'outil est d'emblée profondément social (encadré 3).

Encadré 3. Les deux modes d'existence de l'outil

Pour bien comprendre ce qui est en jeu dans l'utilisation d'un outil en général, et des prothèses perceptives en particulier, il est important de bien distinguer entre deux modes d'existence des outils: «posé», manipulé, séparé ou «saisi», tenu, attaché (figure 7).

Dans les exemples du TVSS comme du *Visual Glove*, quand on apprend à utiliser le dispositif on bascule depuis une situation

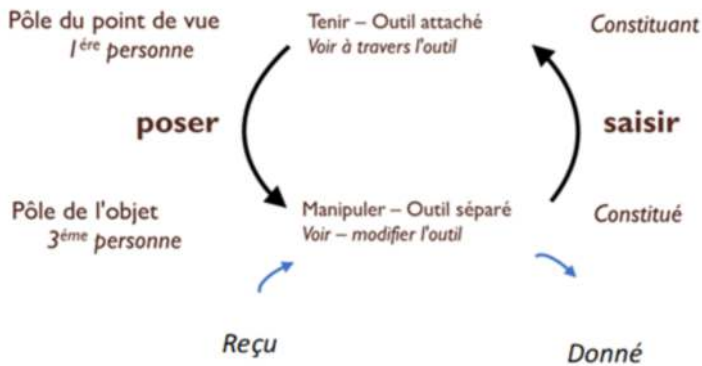


FIGURE 7. Saisir/poser.

de perception proximale (l'outil est perçu comme objet, les picots tactiles ou le vibreur sont perçus sur la peau) à une situation de perception distale (l'outil devient transparent et permet de percevoir

des objets à distance). Un outil saisi, en main, est comme une partie du corps propre, comme les organes biologiques de la perception et de l'action. De la même façon que mon corps-propre est transparent pour moi et m'apparaît plutôt comme un ensemble de capacités pour l'action, l'outil dans le mode saisi disparaît de mon attention qui est plutôt concentrée sur ce que je peux faire avec lui (Froese 2013). Cependant, contrairement aux organes comme les yeux ou les mains, l'outil peut exister sur un second mode, posé. C'est ainsi qu'on peut le fabriquer, le réparer, le recevoir ou le transmettre. Lors de la saisie on bascule de l'objet constitué à l'outil constituant.

Ces deux modes d'être de l'outil font écho à la dualité heideggerienne entre d'une part, l'outil *Present-at-hand* (*Vorhandenheit*, « devant la main ») qui est perçu comme objet devant soi, et d'autre part, l'outil *Ready-to-hand* (*Zuhandenheit*, « à portée de la main ») qui n'est pas explicitement perçu parce qu'au contraire, il donne à percevoir à travers lui d'autres choses (Heidegger 1964, Dotov *et al.* 2010).

Cette dualité se redouble quand on voit autrui ayant saisi un outil, objet constitué pour moi, constituant pour lui. C'est certainement une des façons d'apprendre à percevoir d'avance dans l'objet posé devant soi le sens qu'il pourra prendre quand je l'aurai saisi.

3] Écriture sur un plan: retour au tableau

Dès lors que l'on admet que l'activité cognitive se réalise dans le couplage outillé avec l'environnement, on peut expliquer le rôle de l'écriture pour les opérations de la pensée, c'est-à-dire le fonctionnement de la raison graphique (Goody 1977, Kirsh 1995). Nous ne pouvons pas présenter ici toutes ces opérations comme l'écriture de formules ou de listes, mais nous pouvons maintenant revenir à notre question initiale du tableau en tirant trois conséquences des analyses précédentes.

Premièrement, on voit bien l'avantage des inscriptions sur un plan devant soi. C'est précisément leur indépendance relativement à la position du point de vue. Quelles que soient les positions des spectateurs devant l'écran (ou des étudiants devant le tableau) ils perçoivent en même temps tous la même chose. En effet, les formes dans l'espace du plan à distance devant soi ne se perçoivent que par des rotations des yeux ou de la tête, rotations dont les effets sont semblables quelle que soit la position du centre de rotation. Les

translations sur le côté n'ont de sens que pour évaluer la distance de l'écran (ou pour mieux voir au théâtre mais alors justement on sera face à un spectacle tridimensionnel). La condition d'une connaissance objective est précisément son indépendance relativement aux points de vue subjectifs individuels. C'est précisément ce que réalise concrètement l'inscription de formes sur un plan à distance. On comprend pourquoi toute la science se ramène à des écrits sur des surfaces bidimensionnelles qu'on pourra tous lire de la même façon (Latour & Gille 2001).

Deuxièmement, les actions perceptives qui constituent l'espace du plan correspondent aux déplacements réversibles et isotropes haut/bas et droite/gauche auxquels on doit ajouter une rotation en torsion qui correspond à l'inclinaison des écritures et des formes. Remarquons seulement que ces inclinaisons de la main pour écrire, comme de la tête pour percevoir des formes penchées, sont limitées de façon articulatoire et donc aussi perceptive. Difficile de lire un livre tenu à l'envers !

Le groupe des actions qui constituent l'espace plan est défini par la réversibilité des déplacements pour l'explorer. Dans le cas du tableau les contraintes cognitives sont l'expression directe de cette contrainte perceptive, c'est-à-dire la possibilité d'aller et de revenir dans l'espace : une case continue d'exister, même vide, parce que je dois pouvoir me déplacer suivant les deux dimensions du plan où est dessiné le tableau (Lenay 2003). Je peux percevoir l'existence d'une case vide parce que je dois pouvoir aller de 2 à C en passant aussi bien par 3 ou par la case vide. La case absente manquerait spatialement et cognitivement parce qu'elle signifierait une absence de réversibilité dans ma lecture (comme activité à la fois perceptive et conceptuelle). Ainsi l'organisation spatiale du tableau nous permet de savoir et bien caractériser une ignorance, c'est-à-dire savoir poser une question bien déterminée : que mettre dans la case vide ?

1	A
2	x
3	C

Troisièmement, le tableau permet non seulement de définir une ignorance, mais c'est aussi un guide pour essayer de la combler. En effet, il permet de donner une explication par des opérations

concrètes pour une des facultés cognitives les plus élevées, l'analogie. Les Grecs appelaient *analogia* l'égalité entre deux rapports (ana, indiquant la répétition et logos le rapport : $a/b = c/d$), par exemple, «l'écaille est au poisson ce que la plume est à l'oiseau» (Aristote, *Métaphysique*). La structure spatiale du plan sur lequel est inscrit le tableau définit les possibilités de déplacement isotropes suivant les différentes directions. Il faut pouvoir aller d'une colonne à une autre suivant le même mouvement quelle que soit la ligne où l'on se place, et l'on doit pouvoir aller d'une ligne à une autre suivant le même mouvement quelle que soit la colonne où l'on se place. Le raisonnement par analogie en découle directement. Dans notre schéma, on peut dire par exemple que 2 est à 3 ce que x est à C, ou que 2 est à x ce que 3 est à C. (notons que pour nous expliquer ici nous avons utilisé la technique consistant à donner un signe écrit «x» pour l'inconnu, ce qui, comme pour l'invention du «0», est une technique très puissante pour le développement des mathématiques). Ainsi, l'isotropie des déplacements dans la lecture du tableau permet la réalisation motrice concrète de l'opération cognitive générale de l'analogie.

4] Conclusion

«Tu ne penses pas la technique si tu ne penses pas qu'elle te sert à penser.»

Pour essayer de comprendre comment le milieu technique peut être constitutif de nos capacités d'agir et de percevoir, nous avons présenté quelques éléments de recherche expérimentale. Une telle démarche de recherche en laboratoire est complémentaire des recherches de terrain. Dans celles-ci, il s'agit de respecter l'infinie complexité du milieu des relations humaines et techniques. Dans celles-là, il s'agit seulement de construire des situations simplifiées et contrôlées pour saisir la constitutivité à l'œuvre, dégager des schèmes explicatifs, des façons de comprendre comment vie et technique se composent pour constituer notre expérience humaine. Les deux approches se rejoignent dans la composition de collectifs de recherche technologique opérant sur la durée. En effet, la démarche minimaliste n'est pas réductionniste. Il ne s'agit pas d'expliquer une chose par une autre qui serait différente et plus fondamentale (comme quand par exemple on explique la chaleur ou la pression

d'un gaz par les mouvements de particules, ou quand on prétend expliquer la pensée par l'activité neuronale). Au contraire, il s'agit à chaque fois de mettre en place un monde complet d'actions et de perceptions, même si c'est sous une forme suffisamment simple pour éclaircir au maximum les notions employées et les relations causales proposées. Suivant les cas, ces schèmes peuvent alors se révéler éclairants pour décrire et comprendre les situations complexes de dispositifs appropriables pour des usages réels.

La démarche minimaliste que nous avons esquissée peut être prolongée pour étudier la façon dont l'activité change quand on complexifie progressivement, soit les données sensorielles soit les possibilités d'action. Par exemple, on augmente la quantité d'information délivrée à chaque instant en introduisant un parallélisme (cf. encadré 1).

Cette démarche peut être continuée pour tenter d'étudier toutes les façons dont le milieu technique contraint ou supporte nos activités et nos façons de le penser. Par exemple, on peut regarder comment le milieu organise nos interactions interindividuelles, soit localement à travers des médiations techniques (téléphone et visio-phones, vêtements et maquillages, structure spatiale des bâtiments) soit globalement à travers les inscriptions matérielles des structures et normes sociales (supports de la mémoire collective, symboles, lois, uniformes, guichets, papiers, urnes et isolements, uniformes, monnaie, etc.). Là encore une méthode minimaliste est possible pour étudier les conditions techniques et proposer des schèmes explicatifs des interactions perceptives locales (croisements perceptifs, imitation, attention conjointe) ou l'émergence de structures et normes globales (signes partagés, normes) (Lenay & Stewart 2012).

Pour comprendre le sens cognitif des milieux techniques, il est utile de considérer que les opérations cognitives puissent être réalisées par des opérations concrètes. Dans cette perspective, perception et cognition se déroulent d'abord dans le couplage entre les organismes et leur environnement, même si elles peuvent aussi être internalisées dans les limites de l'organisme.

The reason we can do math in our head is because we can do math in the world. Thinking internally is simulating what we do externally (Vygotsky 2012).

On commence par compter sur ses doigts, ou avec des petits cailloux (les *calculi*), ou avec des inscriptions sur papier avant de pouvoir calculer dans sa tête en apprenant, par exemple, par cœur des « tables » de multiplications. Le milieu technique intervient doublement – d’une part, comme médiation, outil saisi constitutif de champs d’action et de perception – d’autre part comme environnement structuré, soit par l’organisation spatiale d’information (écriture) soit par la structure de l’environnement matériel qui dirige, soutient ou contraint nos actions.

La « constitutivité technique des opérations cognitives » ne signifie pas que ce qui est fait et perçu serait entièrement déterminé par le dispositif technique. Au contraire, il fonctionne comme condition de possibilité pour une multitude d’opérations possibles.

Cette constitutivité technique implique que la recherche d’une substitution à un organe naturel est toujours partielle. Ceci, non seulement parce que le dispositif est imparfait et qu’il fait généralement moins bien que le système biologique, mais surtout parce qu’il fait autre chose. Par exemple, le TVSS est assez improprement appelé un système de « substitution » sensorielle. Il ne remplace pas les yeux et ne donne pas une vision équivalente, ni d’ailleurs un toucher, mais une autre forme de perception. De plus, tout dispositif technique étant le produit de l’histoire humaine, est susceptible de variations rapides et de multiples combinaisons. Le fait même qu’il soit séparable (réparable, échangeable) affecte sa signification. On dira donc qu’il y a suppléance et non pas substitution. Ainsi la recherche technologique qui partait avec l’objectif simple de substituer un dispositif artificiel à un organe déficient aboutit à la production d’un nouveau dispositif de couplage, un « organon » qui ouvre des possibilités perceptives nouvelles. On peut en tirer un précepte très général :

Si tu cherches la substitution, prépares-toi à la suppléance !

Remarquons aussi que l’alternance entre les deux modes d’existence de l’outil, saisi ou posé, est le fond des méthodes d’étude et d’évaluation d’une nouveauté technique. Il s’agit à chaque fois de comprendre ce qu’elle donnera à faire et percevoir quand elle sera saisie, ce que l’on ne peut jamais vraiment savoir si on ne la connaît que comme dispositif posé devant soi. L’étude des effets constituants

d'une idée nouvelle exige donc qu'elle soit suffisamment concrétisée, idéalement sous forme d'une maquette fonctionnelle, pour en permettre la saisie. Cette bascule correspond à un changement de point de vue, un passage entre des connaissances en troisième personne sur l'usage théorique du dispositif à une expérience en première personne sur ce que ce dispositif constitue quand il est approprié. La connaissance vient avec le pouvoir de réversiblement saisir ou poser.

Pour aller plus loin

KIRSH David (1995), "The intelligent use of space", *Artificial intelligence*, 73(1-2), p. 31-68.

À partir de nombreux exemples, David Kirsh propose une description systématique des différentes façons d'utiliser la disposition spatiale des objets et des informations pour supporter notre activité cognitive.

LATOUR Bruno (2001), *L'espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, La Découverte.

Dans ce livre, Bruno Latour montre tout l'intérêt d'une approche anthropologique de l'activité scientifique. À travers une série d'études de terrain particulièrement bien racontées et documentées, il examine la façon dont les scientifiques travaillent réellement. Il met ainsi en évidence la multitude des outils et techniques qui réalisent concrètement les tâches d'abstraction et de construction des connaissances.

LENAY Charles & Stewart John (2012), "Minimalist approach to perceptual interactions", *Front. Hum. Neurosci.*, 6, p. 1-18.

Cet article présente une synthèse des approches expérimentales minimalistes utilisées dans ce chapitre. Différentes expériences sur les interactions interindividuelles et leurs médiations techniques permettent d'analyser les croisements perceptifs. La dynamique de ces interactions perceptives permet de rendre compte d'éléments de base de la cognition sociale (reconnaissance d'autrui, imitation).

Bibliographie

AUVRAY M., LENAY C. & STEWART J. (2009), "Perceptual interactions in a minimalist virtual environment", *New Ideas in Psychology*, 27(1), p. 32-47.

BACH-Y- RITA P. (1997), «Substitution sensorielle et qualia», in J. Proust (dir.), *Perception et intermodalité*. PUF, p. 81-100.

CHRISLEY R., FROESE T. & SPIERS A. (2010), "Engineering conceptual change: The Enactive Torch", *Workshop on Philosophy*, 50.

- DESCHAMPS L., LENAY C., ROVIRA K., LE BIHAN G. & AUBERT D. (2016), "Joint Perception of a Shared Object: A Minimalist Perceptual Crossing Experiment", *Frontiers in psychology*, 7.
- DOVOT D.G., NIE L. & CHEMERO A. (2010), "A Demonstration of the Transition from Ready-to-Hand to Unready-to-Hand", *PLOS ONE*, 5(3).
- DOURISH P. (2004), *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*, MIT Press.
- FROESE T. (2013), "Tool-use Leads to Bodily Extension, but not Bodily Incorporation: The Limits of Mind-as-it-could-be?", *Constructivist Foundations*, 9(1), p. 86-87.
- FROESE T., LENAY C. & IKEGAMI T. (2012), "Imitation by social interaction? Analysis of a minimal agent-based model of the correspondence problem", *Frontiers Human Neuroscience*, 6, p. 202.
- GIBSON J.J. (1986), *The Ecological Approach to Visual Perception*, Lawrence Erlbaum.
- GIBSON J. J. (2014), *The Ecological Approach to Visual Perception*, Classic ed., Psychology Press.
- GOODY J. (1977), *The Domestication of the Savage Mind*, Cambridge University Press.
- HANNETON S., GAPENNE O., GENOUEL C., LENAY C. & MARQUE C. (1999), "Dynamics of shape recognition through a minimal visuo-tactile sensory substitution interface", *Third International Conference on Cognitive and Neural Systems*.
- HEIDEGGER M. (1964), *L'Être et le temps*, Gallimard.
- KIRSH D. (1995), "The intelligent use of space", *Artificial Intelligence*, 73(1-2), p. 31-68.
- LATOUR B. & GILLE D. (2001). *L'Espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, La Découverte.
- LENAY C. (2003), «Prothèses perceptives et constitution spatiale du sens», *Noir sur Blanc*, 7, p. 7 et 12.
- LENAY C. (2006), «Enaction, externalisme et suppléance perceptive», *Intellectica*, 43, p. 27-52.
- LENAY C. (2010), «"C'est très touchant". La valeur émotionnelle du contact», *Intellectica*, 53/54, p. 359-397.
- LENAY C., CANU S. & VILLON P. (1997), "Technology and perception: The contribution of sensory substitution systems", *Cognitive Technology, International Conference*, p. 44-53.
- LENAY C. & STEWART J. (2012), "Minimalist approach to perceptual interactions", *Front. Hum. Neurosci.*, 6, p. 1-18.
- MERLEAU-PONTY M. (1945), *Phénoménologie de la perception*, Gallimard.
- NOË A. (2004), *Action in Perception*, The MIT Press.
- RABARDEL P. (1995), «Qu'est-ce qu'un instrument», *Les dossiers de l'Ingénierie éducative* 19, p. 61-65.

- SIEGLE J.H. & WARREN W.H. (2010), "Distal attribution and distance perception in sensory substitution", *Perception*, 39(2), p. 208-223.
- SRIBUNRUANGRIT N., MARQUE C.K., LENAY C., HANNETON S., GAPENNE O. & VANHOUTTE C. (2004), "Speed-accuracy tradeoff during performance of a tracking task without visual feedback", *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE Transactions, 12(1), p. 131-139.
- VARELA F. (1989), *Autonomie et connaissance*, Seuil.
- VARELA F., THOMPSON E. & ROSCH E. (1993), *L'Inscription corporelle de l'esprit. Sciences cognitives et expérience humaine* (trad. fr. V. Havelange), Editions du Seuil.
- VYGOTSKY L.S. (2012), *Thought and Language*, revised and expanded edition, MIT Press.
- ZIAT M., GAPENNE O., DELWARDE A. & ROUZE M.O. (2005), "Haptic Differentiation between Different Scales", *Proceedings in Designing Pleasurable Products and Interfaces. DPPI'05*, Eindhoven, the Netherlands.
- ZIAT M., LENAY C., GAPENNE O., STEWART J., ALI AMMAR A. & AUBERT D. (2007), "Perceptive supplementation for an access to graphical interfaces", *Proceedings of the 4th international conference on Universal access in human computer interaction: coping with diversity*, p. 841-850.

Partie III

Chemins de la conception

Aller à la rencontre des milieux par l'enquête

Bénédicte Rey & Nicolas Simoncini

Jusqu'ici, nous avons vu comment un ensemble de savoirs nouveaux pouvaient permettre de nourrir une démarche de conception orientée par la prise en compte des milieux. Mais comment faire concrètement pour mettre en œuvre cette dernière ? Tel est l'objet des deux chapitres qui viennent, et qui présentent des considérations de méthode. Le terme de « méthode » s'entend ici au sens de son étymologie grecque de « chemin » : il s'agit plutôt de considérer un ensemble de points de repère pour s'orienter dans les milieux, plutôt que de se référer à une liste de cases à cocher ou à des recettes applicables toujours et partout. C'est l'esprit des méthodes qui nous importe ici, plutôt que la définition de procédures que l'on pourrait appliquer et suivre les yeux fermés.

Ce chapitre commence ainsi par exposer les rudiments de la méthode ethnographique pour aller à la rencontre des milieux. Le chapitre suivant proposera quant à lui des démarches expérimentales pour dévoiler les effets de constitutivité technique. Connaître les milieux et anticiper les effets constituants des techniques sont en effet les deux exigences minimales de la conception orientée milieux.

Une des figures les plus frappantes de l'oubli ou de la méconnaissance des milieux prend la forme du rejet de l'échec sur les utilisateurs. Si ça n'a pas marché, c'est de leur faute. Ils n'ont tout simplement pas compris tout le bien qu'on leur voulait. Les exemples de ce genre de ressentiment technologique fondé sur l'ignorance peuvent paraître caricaturaux et prêter à sourire. Ils sont pourtant monnaie courante. Examinons quelques échantillons :

Ubisoft à propos de l'introduction des NFT (*Non Fungible Tokens*) dans leurs jeux, très mal reçue par les joueurs: «Les joueurs ne comprennent pas ce qu'un marché secondaire numérique peut leur apporter. [...] C'est vraiment bénéfique. Mais ils ne le comprennent pas pour l'instant» (*NoFrag*, le 29 janvier 2022).

Cédric O, secrétaire d'État chargé de la Transition numérique et des Communications électroniques, à propos de l'application française StopCovid (laquelle n'a pas suscité l'enthousiasme, même après avoir été finalement validée par une CNIL d'abord sceptique): «C'est une question d'éducation. Les gens ne comprennent pas à quoi ça sert»; «Nous allons déployer une campagne de communication pour expliquer, faire de la pédagogie» (*Le Point*, 10 octobre 2020; *Europe 1*, 27 mai 2020).

L'Atelier parisien d'urbanisme, à propos d'un jardin nouvellement installé: «Certains habitants n'ont pas compris au départ l'intérêt de jardins comme celui situé au-dessus du Père-Lachaise, ouvert au public, qui montre un grand fouillis. Ces jardins nécessitent d'être expliqués notamment aux jeunes générations. Pour certaines personnes âgées, il est trop tard pour expliquer qu'une araignée ne s'écrase pas» (mai 2010).

L'enjeu de ce chapitre est simple: comment ne pas se prêter au même travers? Quelles sont les conditions minimales pour éviter cette erreur de perspective, et ce ressentiment envers les usagers et envers un milieu qui renâcle à nos bonnes intentions de concepteur? Le message-clé de ce chapitre est que la conception orientée milieux implique une exigence minimale: elle commence à partir du moment où le concepteur sort de son propre milieu de conception. C'est la condition *sine qua non* pour avoir l'opportunité d'être bousculé par les acteurs du milieu avant qu'il ne soit trop tard.

Une anecdote de terrain permet d'illustrer l'intérêt de sortir de son propre milieu et d'aller à la rencontre des utilisateurs... quitte à y laisser quelques plumes. Laissez-nous vous conter l'histoire de Jacques Vabre. Il y a quelques années, nous participions à un projet technologique, RESponSE (Réseaux de capteurs pour la santé des pompiers et leur sécurité), destiné à prévenir les risques cardiaques chez les sapeurs-pompiers (Rey, Simoncini & Triclot 2021). Le métier est en effet particulièrement exigeant sur le plan physique, dépassant même toutes les normes ordinaires, en parti-

culier lors des incendies. La crise cardiaque représente l'une des premières causes de décès. L'idée était d'équiper les agents de vestes connectées, bardées de capteurs de géolocalisation et de mesure des données physiologiques (température cutanée, fréquence respiratoire, fréquence cardiaque maximale, électrocardiogramme) en temps réel, ce qui devait permettre d'accélérer la décision de retirer un agent d'une intervention en cas de mesures critiques, et de permettre sa prise en charge médicale rapide.

Nous nous retrouvons donc à la caserne de Besançon, avec un doctorant, lui-même sapeur-pompier, pour une réunion avec les sapeurs-pompiers de rang afin de leur présenter le projet. Nous nous congratulons après le temps d'échange : la réunion s'est bien déroulée. Certes le public a un peu chahuté, mais «tu sais, ils sont toujours comme ça». Sur ce, le téléphone sonne. Le doctorant décroche : «c'était super votre truc, il faut absolument que vous alliez en parler à Jacques Vabre, l'infirmier. Il est intéressé, il veut vous voir», lui dit-on au bout du fil. Ravis, nous nous mettons en quête de Jacques Vabre... lequel se révèle introuvable. En revanche, chacune de nos demandes pour trouver notre chemin vers son bureau déclenche des rires sous cape ou une franche hilarité. Jusqu'à ce que nous arrivions au bureau du commandant qui éclate de rire à son tour et vend la mèche : il n'y a jamais eu d'infirmier Jacques Vabre ; les sapeurs-pompiers se sont payé notre tête.

Ce petit bizutage comportait une leçon essentielle : Jacques Vabre, c'est la machine à café. Elle représente, d'après les sapeurs-pompiers du rang, le lieu où l'on trouve les «planqués» (dont les médecins) quand les autres sont sur le terrain. Ainsi, les sapeurs-pompiers rejetaient en bloc les capteurs, craignant que les données générées sur leur santé puissent être utilisées pour révoquer leur aptitude opérationnelle, essentielle au déploiement en intervention. Or l'aptitude opérationnelle, fondée sur un bilan de santé, est le cœur de leur métier, et représente souvent la raison première de leur engagement. Pour le dire autrement, nous pensions concevoir de simples capteurs, alors que nous redesignions, en réalité, la relation polémique entre les sapeurs-pompiers et les médecins.

Moralité : de cette anecdote au travail réalisé sur le terrain (pour mieux comprendre les sapeurs-pompiers, leurs pratiques et représentations, l'ensemble des relations de travail, etc.), il fallait

bien sortir du laboratoire pour s'exposer à cette leçon. Quelle autre méthode nous aurait permis de découvrir ce fait crucial? Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les outils utilisables pour connaître les milieux et leurs acteurs. Mais conservons déjà ce premier critère: quelle chance avons-nous, pour chaque méthode, de rencontrer notre Jacques Vabre?

1] La gradation des méthodes

L'importance d'innover en prenant en compte d'autres dimensions que la technique *stricto sensu* est aujourd'hui largement reconnue, au point que les sciences humaines et sociales sont régulièrement convoquées pour accompagner les projets technologiques. De fait, diverses méthodes existent pour tenter de comprendre les usagers et mieux concevoir des produits et services à leur intention. Dans quelle mesure nous permettent-elles de nous départir de nos propres présupposés afin de *vraiment* prendre en compte les milieux et leurs valeurs? Jusqu'à quel point sont-elles compatibles avec les exigences d'une conception orientée milieux?

1.1] Le questionnaire

L'une des méthodes les plus couramment utilisées est le questionnaire. C'est le cas dans nos universités, où des *Google Forms* et autres petits sondages en ligne sont envoyés par les étudiants directement à l'ensemble des boîtes mail pour saisir les besoins des individus relativement à tel ou tel projet. On comprend immédiatement l'intérêt de la démarche: les étudiants pensent ainsi interroger nombre d'utilisateurs potentiels, à un coût quasi-nul; il n'y a pas besoin d'aller sur le terrain, pas un centime à déboursier. Mais quelle est la chance que nous puissions produire un «effet Jacques Vabre» au moyen de ce type d'enquête? Elle semble nulle. En effet, les questions sont préformées en fonction des attentes, des préjugés, des représentations des concepteurs. Cela veut dire que les «enquêtés», pour reprendre le terme employé en sciences sociales, sont convoqués dans les mots des concepteurs, avec leurs schémas, leurs anticipations, leurs cadres mentaux. La possibilité de voir ces cadres et anticipations bousculés ou déjoués, pour accéder aux éléments du milieu, est donc, par construction, très faible. Or, c'est précisément ce que nous devrions rechercher en priorité.

Mais les questionnaires présentent encore d'autres pièges. En premier lieu, l'élaboration d'une véritable enquête quantitative en sciences sociales est une pratique particulièrement exigeante. Il faut anticiper les chemins de réponses possibles, se mettre à la place des répondants pour que le questionnaire ne soit pas trop lourd et ne génère pas trop d'abandon. Il ne faut pas non plus négliger l'effet de halo, c'est-à-dire lorsqu'une question détient le potentiel d'influencer les réponses aux questions ultérieures, ni oublier de choisir scrupuleusement ses mots, en particulier lorsque le sujet est délicat socialement, sous peine de générer des biais qui fausseraient tout le processus d'investigation.

Un exemple particulièrement éclairant de ces biais nous est fourni par Michael Collins, l'homme de l'ombre de la mission Apollo 11 resté en orbite pendant que Neil Armstrong et Buzz Aldrin marchaient sur la Lune en 1969. Collins rapporte ainsi dans ses mémoires que dans les années 1960, les astronautes américains étaient équipés de combinaisons spatiales disposant de poches à urine directement connectées à leur pénis par l'entremise d'une sorte de préservatif. Il fallait donc choisir la bonne taille d'équipement. Trois tailles de préservatif existaient : «petit», «moyen» et «grand». Pourtant, au sein de la NASA, celles-ci avaient été respectivement renommées «extra-large», «immense» et «incroyable» (Collins 2011). On déduit aisément la raison implicite de ce tour de passe-passe sémantique : préserver l'égo des astronautes, sans quoi ceux-ci risquaient intentionnellement de mal choisir et, par extension, de mettre en péril leur mission.

En second lieu, pour que les résultats d'un questionnaire soient exploitables, et d'autant plus si l'on souhaite des réponses fines, il faut que les répondants constituent un panel cohérent avec les objectifs du projet conduit. D'une part, il faut un nombre conséquent de répondants ; d'autre part, il faut pouvoir en mobiliser qui soient concernés par le projet (ce qui n'est pas le cas de n'importe quel répondant). Or les questionnaires en ligne souffrent d'un biais considérable en la matière : qui répond ? Il n'y a aucun moyen de le contrôler. Pire, nous savons que les personnes qui répondent spontanément aux enquêtes ne sont généralement pas des utilisateurs lambdas ou moyens, mais des gens déjà particulièrement intéressés par la thématique, ou bien rémunérés... Un questionnaire ne

devient un outil fiable que si l'échantillonnage est pertinent au regard de la problématique traitée. Si je suis étudiant et que 80 % de mes répondants sont des étudiants (ce qui est un cas classique en cours), mon questionnaire pourra certes produire des réponses fiables mathématiquement ; pourtant je ne pourrai pas extrapoler le sens des résultats à une population générale par la magie des pourcentages. C'est une des faiblesses constantes des questionnaires en ligne : toute une partie de la population cible ne répond pas, ce qui biaise totalement l'échantillon et diminue d'autant la qualité des réponses et des leçons que l'on peut tirer de la démarche.

Pour le dire autrement, le principal reproche méthodologique que l'on pourrait faire au questionnaire en ligne est qu'il produit du « faux quanti » : il revêt les apparences d'une démarche quantitative, basée sur le sondage adressé à un échantillon dimensionné de manière conséquente, alors qu'il vise en réalité des réponses que l'on devrait obtenir par une démarche qualitative. Il se donne les apparences de l'objectivité, alors que les réponses ne sont jamais pleinement exploitables, faute de pouvoir saisir objectivement les biais de l'échantillon.

Ainsi, quelle valeur attribuer à la démarche par le questionnaire en ligne, dans la perspective de la conception orientée milieux ? À peu près aucune : nos préjugés ont une chance infinitésimale d'être bousculés ; les résultats sont biaisés par construction. La seule qualité que l'on peut attribuer au questionnaire est d'être, tout de même, « mieux que rien ». En revanche, dans d'autres conditions, avec des groupes d'utilisateurs déjà constitués, des questions précises liées aux variations d'un prototype, alors la démarche par questionnaire est pleinement justifiée et instructive, mais certainement pas pour une première rencontre avec les utilisateurs ou le milieu. Ainsi, le questionnaire, outil d'une pertinence inégalable lorsque la rigueur méthodologique est au rendez-vous (Combessie 2007), devient un outil pauvre lorsqu'il est utilisé en prétendant cerner en quelques phrases la question des « besoins » des individus et de leurs intentions d'usage.

1.2] Le recours aux personas

Une autre méthode désormais répandue est celle des « personas ». Particulièrement mobilisée en ergonomie, celle-ci promet d'accéder à une connaissance plus fine des individus que ne le feraient les

outils de calcul des données sociologiques classiques (le sexe, l'âge, la catégorie socio-professionnelle, le lieu de vie, etc.) en imaginant leurs motivations et leurs besoins à partir de la constitution de profils qualitatifs. Par rapport au questionnaire, la méthode permet de décaler le regard, de délaisser son système de référence tout en dotant les utilisateurs potentiels d'une certaine «consistance» (Bornet & Brangier 2013). Elle oblige à considérer qu'il existe d'autres points de vue et à essayer de les anticiper. Quelle chance avons-nous de voir apparaître Jacques Vabre parmi les personas? S'il ne fait aucun doute que ce dernier ferait un bon persona, la chance de le voir apparaître est faible; son irruption était liée à notre présence sur le terrain, et était pour nous une surprise, difficile à anticiper à partir d'une connaissance à distance.

Le défaut de la méthode est donc qu'elle peut être mobilisée *comme si* elle donnait une connaissance réelle des usagers potentiels. Assise sur une connaissance du milieu, elle s'avère extrêmement utile: les personas servent à représenter la multiplicité des points de vue ou des pratiques dans un milieu et peuvent notamment amener à considérer une palette élargie de réponses techniques. Mais sans connaissance effective des milieux, leur efficacité n'est pas aisée à établir. Les personas restent des représentations fictives dont l'usager réel est finalement exclu. On pense donc ici à sa place, de manière abstraite. Le concepteur changera certes un peu de perspective, mais sans quitter son univers de sens personnel (cf. par exemple la figure de Sal, créée par Mark Weiser, et rappelée par Nova 2011).

Loin d'avoir été neutralisés, les biais liés aux représentations que chacun a d'autrui ont alors toutes leurs chances d'être reconduites. Avec le risque de renouveler l'erreur du projet *One Laptop per Child*, décrit dans le chapitre 1, qui s'était doté d'un utilisateur fantasmé sur la base de l'idéologie du «garçon techniquement précoce», reproduisant de surcroît des biais de genre, dans une ignorance totale de son public réel. Ainsi, si elle possède indéniablement des vertus pour la conception, la méthode des *personas* utilisée seule présente le risque de donner l'illusion de suffire à capter la réalité des usages pour guider la conception, tout en répétant en réalité les présupposés existants, et en passant à côté de ce qui se joue dans le milieu considéré.

1.3] Le *focus group* et le *living lab* : faire venir les usagers « au labo »

Pour pallier les limites précédentes, il paraît logique de faire venir de vrais usagers, en chair et en os, auprès des concepteurs afin de recueillir leurs suggestions ou de leur faire tester les dispositifs développés. C'est le principe du *focus group* et du *living lab*. Le premier peut être sommairement défini comme un groupe de discussion constitué *ad hoc* pour débattre d'un thème spécifique tandis que le second représente autant un lieu qu'un procédé de coconstruction d'outils, de services ou de technologies misant sur la collaboration active du grand public. Qu'il s'agisse de l'un ou de l'autre, on ne peut plus objecter ici que les individus seraient imaginés selon des biais de représentations, ni qu'on penserait à leur place. Mais quelle chance avons-nous de voir Jacques Vabre toquer à la porte du labo ? Plusieurs biais sont, ici encore, à prendre en considération.

Un premier biais est lié au recrutement. Pour recruter les usagers, différentes solutions existent, du volontariat à diverses formes de rémunération. Or ces approches attirent régulièrement des publics peu représentatifs des usages que l'on souhaite alors mieux connaître. On peut ici penser aux utilisateurs dits « pro-am » (pour amateurs professionnels), souvent convoqués dans les projets de conception. Ces derniers sont intéressants car souvent motivés, friands d'innovation et dotés de compétences qui permettent d'adresser des fonctions avancées. L'erreur serait de considérer que la compréhension de ce type d'individus très particuliers vaut compréhension des usagers en général. Ce qui est sans doute l'un des meilleurs moyens de générer les réactions rejetant la faute sur les usagers lambda que nous avons rencontrés en début de chapitre.

Un deuxième biais est lié à la manière dont les usagers qui participent aux projets se saisissent des outils mis à leur disposition. Car il existe des asymétries entre usagers (Lelong & Gayoso 2010) : tout le monde n'a pas les mêmes compétences, les mêmes facilités à prendre la parole ou à s'imposer en public. Ici encore, les effets de genre, de niveau d'études, d'origine sociale sont massifs et s'imposent à la dynamique des activités.

Un troisième biais tient au milieu lui-même. Au lieu d'aller voir les usagers potentiels en situation, dans leur milieu de vie, ce sont eux qui sont appelés dans le milieu des concepteurs. La situation se

déroule selon les règles du jeu choisies en amont par ces derniers, qui cadrent l'interaction. Une des ficelles du métier de chercheur en sciences sociales est de savoir contourner la «bonne volonté des enquêtés». Répondre à une enquête, que ce soit dans le cadre d'un entretien individuel ou d'un *focus group*, est une situation particulière, souvent vécue comme valorisante ou privilégiée : si les sociologues m'écoutent, c'est que j'ai quelque chose à dire. Les enquêtés font ainsi souvent preuve d'une «bonne volonté» qui consiste à anticiper sur les attentes qu'ils supposent être celles de l'enquêteur. Ou pour le dire autrement, une partie de leurs réponses peut être destinée à faire plaisir à ce dernier. Dans le cadre d'un *focus group*, obtenir des opinions divergentes exige un effort spécifique. C'est possible, mais il doit s'agir d'une préoccupation cultivée par les organisateurs, sinon, à l'inverse, il est trop facile d'obtenir confirmation de ce que l'on attendait, soit que les enquêtés le disent explicitement, soit qu'ils se mettent simplement en retrait en opinant poliment. On peut alors ressortir avec l'impression que le dispositif convient à tout le monde, sans avoir fait émerger les points de douleur ou de tension qui sont pourtant les plus importants à ce stade... ce qui était précisément notre situation avant de rencontrer Jacques Vabre. Les sapeurs-pompiers nous avaient écoutés tout le long, sans émettre de critique explicite sur notre démarche, malgré nos sollicitations répétées pour leur faire prendre la parole. Si nous en étions restés à ce stade de l'enquête, nous aurions alors pu considérer que la technologie que nous développions pour eux était appropriée, et nous n'aurions jamais eu la surprise de (ne pas) rencontrer Jacques Vabre, c'est-à-dire d'être confrontés au rejet des capteurs. Si ce dernier s'est malgré tout imposé, c'est aussi que nous étions chez eux, à la caserne, plutôt qu'au laboratoire, et qu'ils ont pu mobiliser les ressources du lieu pour nous faire tourner en bourrique (et rendre palpable ce faisant un élément central de la compréhension du milieu).

1.4] Les méthodes orientées usages

Dans cette gradation des méthodes en fonction de la place qu'elles accordent aux usagers réels et au terrain, un dernier échelon est représenté par les méthodes «orientées usages» ou «orientées utilisateurs». Nous sommes ici au plus près d'une exigence «orientée

milieux»: pour la première fois, les concepteurs vont sur le terrain des usagers. Les chances de rencontrer le milieu et de voir surgir notre insaisissable Jacques Vabre sont maximisées. On peut prendre l'exemple de la méthode Cautic (Conception assistée par l'usage pour les technologies, l'innovation et le changement) qui s'attache à évaluer le degré d'acceptabilité d'une innovation ou d'un concept, lequel est défini comme le potentiel de « négociation » ou « d'hybridation » entre la technologie nouvelle et les pratiques et savoir-faire techniques lui préexistant (Verchère, Pizelle & Hoffmann 2014)¹.

Plus récemment, des méthodes regroupées sous l'appellation « UX » pour « *user experience* » (ou « expérience centrée utilisateur » en français), ont ouvert plus encore le design et l'ergonomie aux univers d'usages en situation, en intégrant, au-delà de la composante comportementale et cognitive traditionnelle, les dimensions émotionnelles (Lallemand & Grosnier 2015).

De toutes les méthodes passées en revue jusqu'à présent, celles-ci sont indéniablement les plus proches de l'esprit de l'enquête de terrain tel que nous l'envisageons dans le cadre de la conception orientée milieux, ne serait-ce que parce qu'elles nous incitent à sortir du laboratoire pour aller observer les usagers dans leurs milieux respectifs. Pour autant, il existe toujours la possibilité que Jacques Vabre ne nous échappe. Pour deux raisons. D'une part, même s'ils

[1] Fondée au milieu des années 1990 par le sociologue Philippe Mallein, la méthode Cautic promet, à partir d'une méthodologie qualitative préétablie (une méthodologie identique pour tout projet, dont on vient adapter les questions au sujet traité), d'identifier les pratiques et représentations des individus ciblés, et de comprendre leur « système d'usage ». « Une innovation n'arrive pas dans un « désert social ». » Elle rencontre, dans l'usage qu'en font des utilisateurs, « toute une série de pratiques, de représentations, de normes déjà en place ou existantes » (Verchère, Pizelle & Hoffmann 2014). Cautic vise ce faisant à accompagner l'innovation (à différentes phases, y compris en phase de tests de concepts, bien qu'il soit précisé qu'une intervention bien en amont du processus soit plus intéressante) : à partir de critères pré-listés et de profils d'utilisateurs prédéfinis dans leur rapport au changement, l'enquête qualitative très ciblée qui est conduite vise à identifier ce qui est susceptible d'être favorable ou défavorable à l'innovation dans la rencontre entre la technique nouvelle et les savoir-faire en place, entre la nouvelle proposition et l'identité privée et professionnelle des utilisateurs, etc.

se sont dotés des principaux outils des sciences sociales (l'entretien, l'observation, etc.), les designers «orientés usages» pratiquent dans l'ensemble ce que l'on pourrait nommer une forme d'ethnographie minimale (Nova 2014). La question de la durée est ici cruciale : ils passent peu de temps sur le terrain, quelques heures ou quelques jours dans le meilleur des cas, quand les sociologues et les anthropologues peuvent y rester des mois, voire des années. Ils ont donc moins d'occasions d'y voir apparaître des acteurs, des situations ou des événements inhabituels, souvent «invisibles» au premier abord mais pourtant influents, et qui les ébranleraient dans leurs certitudes. De fait, dans notre exemple, nous avons eu de la chance de voir apparaître Jacques Vabre de manière précoce mais nous aurions potentiellement eu aussi d'autres occasions de (ne pas) le rencontrer lors de nos multiples observations à la caserne ou de notre participation aux gardes, qui visent à s'immerger dans le milieu des sapeurs-pompiers pour saisir les pratiques au-delà de ce qui peut s'en raconter en entretien.

Au-delà de la durée des observations, une autre différence tient sans doute à la manière dont ces dernières sont cadrées. Les démarches orientées usages ou utilisateurs s'intéressent par construction prioritairement aux interactions entre l'utilisateur et l'objet technique, quand l'orientation milieu invite à aller voir ce qui se joue tout autour, sans bornes prédéfinies. Jacques Vabre est en effet l'incarnation de relations qui se tissent plutôt dans les recoins de la caserne et au détour des couloirs, qui ne s'expriment pas verbalement ou dans des gestes en action, mais dans des non-dits, des regards fuyants et des silences qui en disent long. Observer par le milieu fait ressurgir des relations de pouvoir qui peuvent constituer le hors-champ de l'observation des usages et invite, dans la foulée, à questionner la commande initiale plutôt qu'y répondre à tout prix. Pour cela, il faut passer du temps sur le terrain et comprendre comment les pratiques et l'expérience utilisateur s'insèrent dans un milieu d'activité toujours plus vaste.

2] Petit guide de l'enquête de terrain

Les méthodes les plus courantes nous ont conduit au seuil d'une enquête de milieu. Dès lors, comment enquêter en pratique ? Ce chapitre ne peut servir de raccourci à une formation de sociologue

ou d'ethnologue. Mais il vise à transmettre l'esprit des méthodes employées en sciences sociales, quelques « ficelles du métier » et à offrir des ressources pour se donner la chance de rencontrer Jacques Vabre. Ainsi, il nous apparaît que trois grandes préoccupations peuvent orienter le travail d'investigation : repeupler le milieu, repérer les réparateurs et garder à l'œil les relations de pouvoir.

2.1] Repeupler le milieu

La première de ces préoccupations correspond à un changement de focale, un élargissement du regard. Car une chose est certaine : un milieu est toujours plus riche d'acteurs humains et non-humains que ce que l'on envisage au départ, lorsqu'on esquisse de premiers scénarios ou scripts d'usage (Akrich 1987). Pour l'illustrer, prenons un cas tiré d'un de nos terrains, dans le domaine des énergies renouvelables (Simoncini *et al.* 2018). À la fin des années 2000, l'Université de Corse, le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et Héliion, filiale d'Areva Technicatome, s'associent pour bâtir une plateforme expérimentale dénommée Myrte (Mission hydrogène renouvelable pour l'intégration au réseau électrique) comportant un champ de panneaux photovoltaïque, un électrolyseur, un système de piles à combustible et des réservoirs d'hydrogène et d'oxygène. De manière générale, Myrte se présente comme un essai grandeur nature visant à pallier le problème de l'intermittence de production d'énergie d'origine solaire. L'électricité produite par les panneaux doit pouvoir être injectée directement dans le réseau ou stockée un temps dans les réservoirs après transformation en hydrogène et en oxygène gazeux par le biais de l'électrolyseur. En cas d'insuffisance de production ou lors de pics de consommation, il est attendu que le système de piles à combustible prenne le relais et retransforme l'hydrogène et l'oxygène stockés en électricité.

Une fois ces éléments techniques convenus entre les différents partenaires, le choix de l'emplacement de la future plateforme se porte sur un site à quelques kilomètres au nord d'Ajaccio. Celui-ci semble idéal : niché sur une petite colline, il abrite une centrale solaire à concentration tombée en désuétude. Le milieu a l'avantage d'être désert : personne en vue à l'horizon. *A priori*, il n'y a qu'à poser les valises et commencer à s'installer. Mais des usagers traditionnels du milieu local se manifestent au fur et à mesure

des travaux. D'abord, une étude d'impact révèle la présence sur les lieux d'une espèce protégée : la tortue d'Hermann. Seule tortue terrestre de France, celle-ci se trouve être l'un des reptiles les plus menacés dans le monde et fait l'objet d'un plan national de sauvegarde. Ensuite, le club local d'astronomes amateurs vient toquer à la porte, arguant qu'il utilise les lieux comme point d'observation des étoiles et entend bien continuer à le faire. Puis la zone naturelle à proximité demande à son tour à être préservée : toute modification trop importante du paysage pourrait avoir un impact négatif sur le tourisme régional et ceux qui en dépendent. Enfin déboulent des chasseurs du maquis environnant, à l'affût des sangliers. Ne faut-il pas craindre qu'ils fassent exploser les réservoirs d'hydrogène et d'oxygène à l'occasion d'un tir de fusil malheureux ? Face à cette petite foule hétéroclite d'invités inattendus, la construction est directement menacée : les services publics qui gèrent le dossier réfléchissent à y mettre un terme. Nous pouvons ici dégager une première maxime pratique destinée à l'enquête :

Attends-toi à ce qu'il y ait plus de monde que prévu.

Ainsi, en tant que concepteurs, la première étape de notre travail d'enquête doit se porter sur la recherche de la diversité des acteurs en présence pour les ramener dans le tableau principal. À ce stade, l'objectif ne doit pas tant être de borner la situation pour y apporter une réponse que de l'ouvrir pour faire apparaître d'autres dynamiques à d'autres échelles. Si l'on ne se plie pas à cet exercice de repeuplement, le risque est grand de se retrouver dans une situation analogue à celle vécue par l'équipe responsable de Myrte, c'est-à-dire de voir surgir inopinément un jour ou l'autre des invités inattendus pouvant aller jusqu'à remettre en cause les projets dans leur intégralité.

Mais comment procéder concrètement ? Plusieurs méthodes qualitatives existent, employables séparément ou conjointement. De préférence, on se tournera vers les approches inductives, appropriées pour faire surgir le sens, sans le présupposer, à partir de la récolte de données sur le terrain (Picard & Rey 2014). Souvenons-nous : l'idée n'est pas de reconduire nos préjugés mais de déceler des éléments nouveaux, surprenants, imprévus, susceptibles de nous bousculer dans nos retranchements.

Il est ainsi souvent utile de commencer par se renseigner en amont, avant d'aller sur le terrain à proprement parler, en vue

d'obtenir des éléments de contexte sur le milieu qui nous préoccupe. Dans cette perspective, on consultera la littérature scientifique existante, les archives ou les médias (presse écrite, radio, télévision). On tentera aussi d'identifier des personnes-ressources sur lesquelles s'appuyer et à qui demander de l'aide. Lors de notre enquête à la caserne, par exemple, nous avons pu compter sur notre collègue doctorant, lui-même sapeur-pompier, pour nous prodiguer des conseils et jouer les entremetteurs de façon à nous faire accepter plus facilement par les autres agents.

Une fois sur place, on pourra chercher à s'entretenir avec les populations qui composent le milieu. Attention cependant : mener un bon entretien est à l'opposé de l'envoi d'un questionnaire en ligne. Le but n'est pas de restreindre la parole pour la faire entrer dans des cases (oui ou non, d'accord/pas d'accord, etc.) en quelques minutes en fonction d'une grille rigide de questions préétablies. Au contraire, on veut la laisser se libérer au maximum. Pour cela, on optera pour des échanges de longue durée, jusqu'à plusieurs heures, et pour la préparation de quelques questions seulement, de manière à donner à nos interlocuteurs l'occasion de dériver de la thématique principale. Le vrai sujet se trouve parfois enfoui là où on ne l'attend pas. Par exemple, lors d'un entretien sur la consommation d'énergie, on pourrait ne poser instinctivement que des questions en rapport avec les modes de transport alors que pour la personne en face de nous, le fond du problème se situera plutôt dans la préservation de la chaleur au sein de la serre au fond de son jardin potager. Et avec une grille d'entretien trop préparée, trop précise, il est probable que l'on passerait à côté.

Conduire un entretien, c'est en réalité mettre en œuvre une foule de petits savoirs pratiques, comme réussir à relancer l'enquête lorsqu'il ne donne pas assez de détails, ou bien recentrer la discussion sans pour autant le vexer. Dans ce dernier cas, on posera d'ailleurs des questions commençant par « comment » (comment en êtes-vous venu à... ?) plutôt que par « pourquoi » (pourquoi avez-vous fait... ?). Certains de ces savoirs s'apprennent dans les manuels d'ethnographie, voire font l'objet de vastes débats en sciences sociales : la prise de notes dans un carnet, la négociation de l'enregistrement audio de l'entretien, la présentation de soi (dois-je dissimuler ou non mon identité et la teneur de mon enquête ?),

la gestion du rapport de classe, d'âge ou de genre dans la relation enquêteur/enquêté, le statut à accorder à la mémoire et aux souvenirs, etc. (Beaud & Weber 2010, Goyon 2005, Fournier 2006, Bourdieu 1986, Descamps 2005). D'autres relèvent en revanche de l'expérience personnelle, comme apprendre à ses dépens qu'il vaut mieux toujours avoir deux magnétophones dans son sac plutôt qu'un seul en cas de panne...

En plus (ou à la place) de l'entretien, on pourra aussi s'appuyer sur l'observation. Il s'agit d'une méthode particulièrement féconde pour étudier des pratiques, des gestes, des manières d'être et de faire, des interactions, des lieux, ou encore des objets. L'observation pourra être directe. Dans ce cas, on séjournera un temps plus ou moins prolongé sur le terrain, afin d'accompagner les acteurs d'un milieu – à l'échelle d'un individu ou d'un groupe – dans leurs activités quotidiennes, dans leur travail ou lors d'événements spécifiques, comme des rituels ou des cérémonies (Arborio & Fournier 2001). On fera attention à tout, car tout peut devenir une source d'informations pertinente. Mais on restera en retrait de l'action, on n'y prendra pas part. Au contraire, l'observation sera dite participante lorsqu'on choisira de ne plus être un simple observateur mais de s'impliquer activement dans le milieu étudié, en incarnant un rôle défini, avec l'idée d'en apprendre plus sur la pratique par la pratique elle-même. On pourra par exemple aller travailler à la chaîne dans une usine afin de mieux restituer la dureté du travail de l'ouvrier (Linhart 1978) ou bien devenir boxeur (Wacquant 2001) ou pianiste de jazz (Sudnow 1978) pour saisir toutes les nuances du processus d'incorporation des dispositions qu'implique l'apprentissage de ces activités.

Parfois, passer à cette seconde forme d'observation se révèle même obligatoire pour faire tomber les barrières qui séparent l'observateur et les observés et entrer véritablement au cœur du terrain. Une anecdote célèbre sur le sujet nous est narrée par l'anthropologue Clifford Geertz: parti étudier un village à Bali avec sa femme à la fin des années 1950, il se confrontait systématiquement au refus des habitants de communiquer. Jusqu'à ce qu'ils assistent tous les deux à un combat de coq local, un événement significatif dans la culture balinaise mais interdit par la loi, et qu'ils s'enfuient en courant comme les autres spectateurs à l'arrivée de la police. Le

lendemain, tous les villageois les avaient adoptés ; ayant agi comme l'un des leurs, ils étaient devenus des membres à part entière de la communauté (Geertz 1973). Plus récemment, le sociologue Mathieu Trachman racontait qu'au cours d'une enquête sur le travail dans le milieu de la pornographie, il n'avait réussi à perdre le statut de voyeur venu « se rincer l'œil » que lui avaient négativement assigné ses enquêtés (les acteurs, les réalisateurs) qu'en participant lui-même aux tournages en tant qu'éclairagiste (Trachman 2013). De notre côté, nous avons aussi eu droit à un baptême du feu à la caserne : les langues n'ont commencé à se délier chez les sapeurs-pompiers à propos des vestes connectées qu'après notre recrutement en tant que stagiaire à leurs côtés pendant quelque temps. Nous avons notamment gagné leur respect en participant aux courses à pied du matin, en montrant que nous pouvions tenir le rythme sur le plan sportif, ce qui constituait pour eux un test de confiance. Néanmoins, se faire soi-même objet d'étude n'est pas exempt de difficultés : il faudra en particulier veiller à garder une certaine distance vis-à-vis du terrain pour pouvoir tendre vers l'étude objective des situations vécues. Une des clés pour y parvenir est d'en passer par l'analyse réflexive, en interrogeant la manière dont nos propres pratiques d'enquête, notre éducation ou encore notre position dans l'espace social influencent nos enquêtés ou pèsent sur les données que nous produisons (Corcuff 1995, Naepels 1998, Noiriel 1990, Olivier de Sardan 2000). Qu'est-ce que je fais à l'enquête ? C'est la principale question que nous devons nous poser dans ce cadre.

Tous ces conseils concernent au premier chef les êtres humains, mais qu'en est-il des acteurs non-humains au sein d'un milieu ? Dans l'exemple de Myrte nous n'avions pas seulement des astronomes amateurs, mais aussi des tortues et des sangliers, eux-mêmes poursuivis par les chasseurs. Comment donc prêter attention aux non-humains ? Comment connaître leurs « revendications » ? Partons déjà du principe qu'il est entendu que la question de la prise en compte et du soin du reste du vivant n'est pas anodine mais relève au contraire d'une urgence absolue. C'était en partie l'objet des premiers chapitres de cet ouvrage que d'admettre l'insoutenabilité de nos rapports actuels à la biodiversité, ne serait-ce que du simple point de vue de la préservation de nos propres conditions d'habitabilité de la Terre. Or, dans la lignée de la différence évoquée entre le concept de milieu

et celui d'environnement, y remédier passe par une rupture avec les représentations modernes de la nature perçue comme environnement, c'est-à-dire une totalité extérieure à la société. En cela, le premier pas d'une enquête portant sur les non-humains consistera à leur accorder un autre statut, une autre place qu'un simple décor en arrière-plan de nos activités. Une telle évolution de nos mentalités signifie notamment reconnaître aux animaux, aux plantes ou même aux sols des formes de savoir, d'intelligence, de sensibilité, en somme d'être au monde, à respecter et à valoriser, dans l'optique de tisser des relations relevant plus du partenariat que de la domination unilatérale (Guchet 2016). En prolongement, elle nous incite à délaïsser la seule identification des espèces présentes dans les milieux pour nous intéresser aux modes de dialogue que nous pourrions déployer pour leur parler. C'est tout l'enjeu de l'anthropologie au-delà de l'humain mise en œuvre par Eduardo Kohn (2017), attentive aux manières de percevoir de la variété des êtres qui peuplent la forêt amazonienne, ou des propositions de négociations diplomatiques avec le loup formulées par Baptiste Morizot (2016).

Intéressons-nous plus en détail à ce dernier cas pour concrétiser le propos. Engager le dialogue avec le loup est nécessaire, nous explique Morizot. D'une part, les frontières de nos milieux respectifs s'entrecroisent régulièrement. C'est ce que mettent en évidence les attaques de troupeaux de brebis dans les Alpes. D'autre part, il s'agit d'un prédateur doté d'une grande importance sur le plan écologique. On l'a perçu avec l'exemple des cascades trophiques du parc de Yellowstone dans le deuxième chapitre. L'éradiquer serait donc contre-productif. Dès lors, quel canal de communication ouvrir ? La solution, suggère Morizot, passe obligatoirement par le fait de convenir que le loup est doté de son propre univers de représentation. Dans notre vocabulaire hérité d'Uexküll et de Canguilhem, nous dirions qu'il est «le sujet de son propre milieu». Et c'est uniquement par l'accès à cet univers, à travers l'étude de son comportement et de ses besoins, que nous nous donnerons la possibilité d'élaborer des formes d'interaction dans son propre langage qui feront sens pour lui. Ainsi, cette approche, qui prend en compte la perspective de l'animal comme sujet, peut déboucher sur l'instauration de barrières olfactives plutôt que de clôtures physiques pour tenir les meutes à distance.

2.2] Repérer les réparateurs

Une fois les acteurs identifiés, au-delà du paysage ontologique raréfié de nos intuitions initiales, notre deuxième préoccupation méthodologique majeure dans l'enquête doit être d'en prendre soin. Cela revient particulièrement à nous poser deux questions à leur sujet : de quelle manière pourraient-ils être influencés par la diffusion de nos objets techniques ? Comment les intégrer au processus de conception avec l'objectif de préserver leurs capacités d'action ? La réponse à la première question est à chercher dans un effort d'anticipation des effets constituants du développement technologique. Tournons-nous vers un autre projet de recherche relatif au domaine de la santé connectée auquel nous avons récemment participé, nommé SBra (Smart Bra), pour comprendre à quoi un tel travail peut correspondre.

Schématiquement, SBra visait le développement d'un soutien-gorge intelligent, doté de capteurs de balayage d'impédance électrique et de mesure de la température cutanée, pour le dépistage du cancer du sein. Au moment où nous démarrons les investigations sur le terrain, les médecins et les ingénieurs participant au projet sont déjà tombés d'accord sur un scénario d'usage : la brassière a vocation à constituer une alternative portable à la mammographie et à être accessible chez certains professionnels de santé, voire directement par les patientes elles-mêmes à domicile (Al Masry *et al.* 2021). Surtout, elle est pensée comme « une révolution qui ne va rien changer » : d'un côté, elle est présentée comme une amélioration radicale de l'existant, avec tous les avantages de la mammographie en termes de sensibilité, sans aucun de ses inconvénients en termes d'ergonomie et d'usage ; de l'autre, on rassure sur le fait qu'elle n'aura aucun impact sur la pratique habituelle de la médecine.

Or l'enquête nous fait rapidement prendre conscience que cette promesse est bancale : dans la salle d'attente d'un gynécologue, une secrétaire médicale avec qui nous discutons nous explique ainsi que la diffusion de la brassière en l'état ferait peser de nouvelles contraintes sur son activité quotidienne, comme répondre au téléphone aux patientes qui ne sauraient pas s'en servir à domicile. Ce travail invisible possède une double composante : technique, de l'ordre de la maintenance (« Et qu'est-ce que ça veut dire cette lumière qui clignote ? Et ce bouton ? Et je le mets comment ? »),

mais aussi de soutien psychologique face à l'anxiété de l'examen. D'autres professionnels de santé que nous rencontrons plus tard nous font comprendre que même dans la perspective d'un déploiement au cabinet, la majorité des actes les moins valorisés sur le plan symbolique mais les plus chronophages relatifs au fonctionnement de l'objet (son nettoyage, le rechargement de ses batteries, la vérification de ses paramètres, son installation sur le buste des patientes, etc.) finirait aussi par incomber non pas aux médecins mais aux membres des équipes soignantes gravitant tout autour (les infirmières, les aides-soignantes, les secrétaires...) avec pour conséquence une augmentation de leur charge de travail.

Ainsi, la conception technologique n'est jamais neutre socialement, et surtout pas pour les «petites mains» à qui l'on confie le «sale boulot» (Arborio 1995), et sans lesquels les dispositifs supposément autonomes ne fonctionnent pas. L'enjeu est donc de réussir à se projeter sur la façon dont ces invisibles, plus encore que les autres acteurs du milieu, soutiennent les médiations techniques, participent au maintien de l'intégrité du milieu, et subiront les effets des transformations introduites. Ici, nous retrouvons le «peuple invisible de la maintenance», dont les savoirs et savoir-faire sont souvent occultés mais pourtant essentiels (Denis & Pontille 2022). Le temps de la conception n'est qu'une petite parenthèse dans la vie des objets techniques qu'il faut au jour le jour réparer, faire durer, dont il faut anticiper les fragilités... De là, notre deuxième maxime :

Demande-toi qui va s'en occuper, repère les réparateurs, prends soin des mainteneurs.

En somme, l'enquête menée dans le souci du soin du milieu nous pousse à faire plus qu'arpenter des chemins en dehors du scénario d'usage initial ; elle nous invite à interroger la validité de ce scénario lui-même : le problème est-il bien posé ? C'est précisément la leçon que nous tirons ici du terrain : dès le départ, le projet se trouvait en décalage avec les logiques du monde médical. Cette conclusion établie, il ne nous reste alors plus qu'à répondre à la deuxième question qui nous anime dans cette partie : comment intégrer à la conception les résultats des connaissances acquises au fil de l'enquête ?

Dans SBra, la réorientation de la conception va se traduire par une ouverture à la technodiversité (cf. chapitre 12). Alors qu'au départ les porteurs du projet ne prévoyaient qu'une utilisation restreinte

du dispositif, centrée sur la relation médecin-patiente au cabinet de ville ou à domicile, la connaissance du milieu permet d'imaginer une multiplicité de « niches écologiques » où l'usage de la brassière pourrait rendre service, sans avoir besoin de se substituer à la mammographie, tout en bénéficiant de conditions favorables sur le plan technique et humain. Ainsi, les maisons de santé pluridisciplinaires, les groupements professionnels, les maisons d'accueil spécialisées, le service de radiothérapie de l'hôpital, etc. – soit un certain nombre de lieux découverts lors de l'enquête – garantissent la présence de personnels soignants à même d'assumer la délégation de certaines tâches techniques sans pour autant voir les conditions d'exercice de leur métier se dégrader. En retour, ce sont la forme et les fonctions toutes entières de la brassière qui éclatent sous nos yeux car des types de patientes insoupçonnés sont découverts dans ces « niches écologiques », comme les femmes handicapées ne pouvant pas passer une mammographie normale, celles refusant le dépistage organisé, ou encore celles qui viennent de terminer leur traitement contre le cancer mais qui n'ont pas encore passé leur premier examen de contrôle. Et on se retrouve finalement à élaborer non plus une mais plusieurs brassières adaptées à la pluralité des situations locales de dépistage, avec différents niveaux de précision médicale, ce qui nous emmène en même temps au-delà de l'objectif initial d'une performance équivalente à la mammographie.

Cependant, en raison de leur irréductibilité, tous les milieux n'appellent pas toujours les mêmes solutions ; et ce qui est valable pour l'un ne l'est pas obligatoirement pour un autre. De fait, si la voie de la technodiversité constitue une réponse satisfaisante aux problèmes rencontrés dans SBra, d'autres cas se règlent plus volontiers par le biais de la production d'un ordre socio-technique commun. On peut revenir au récit sur la construction de Myrte pour l'illustrer. Tous les acteurs qui n'apparaissaient pas initialement sur la photo s'étant révélés (les tortues, les chasseurs, la réserve naturelle à proximité, les astronomes amateurs), et pour que le projet ne soit pas abandonné, l'équipe responsable de la plateforme va s'activer pour trouver une solution qui compose avec ces exigences hétérogènes. Elle va réussir à sortir de l'impasse via l'inscription des différentes valeurs en concurrence au sein même de la technique. Ce compromis prend plusieurs formes. Un accord est ainsi trouvé

avec les autorités étatiques concernant les tortues, dont l'espace de vie est étendu : des ouvertures sont découpées dans les clôtures pour les laisser aller et venir à leur guise. On s'engage aussi à s'occuper soigneusement des spécimens présents sur le site durant toute la durée des travaux. Par ailleurs, un lieu est aménagé spécifiquement pour les astronomes, pour leur permettre de continuer à pratiquer leurs activités, et les bâtiments dans leur ensemble sont remodelés pour se fondre dans le paysage (plantation d'arbres, utilisation de bois dans la construction, etc.), réduisant par là même l'incidence du site sur la réserve naturelle adjacente. Quant aux chasseurs, on règle le problème de deux façons, en enterrant les cuves d'hydrogène et d'oxygène (figure 1) et en produisant tous les calculs nécessaires pour s'assurer de leur résistance aux balles de fusil.



FIGURE 1. L'enterrement des réservoirs de la plateforme Myrte permettant de minimiser l'impact sur le paysage et le risque d'accident de chasse (crédit photo : auteur 2022).

Dans RESponSE, nous privilégions encore une autre stratégie. Au cours de notre stage à la caserne, nous nous rendons compte que le port quotidien d'éventuelles vestes connectées serait contre-productif pour les sapeurs-pompiers : les pratiques en vigueur chez les agents en réduiraient en effet fortement l'efficacité potentielle. Par exemple, ces derniers doivent se rendre sur les lieux des interventions, soit « décaler » comme on le dit dans le jargon du métier, le

plus rapidement possible pour des raisons évidentes : chaque minute peut être cruciale dans la gestion d'une crise ou d'un accident. Dès que l'alerte retentit à la centrale, le temps qu'ils consacrent au revêtement de l'équipement est alors limité. Il arrive même parfois que pour réduire celui-ci à son minimum, ou parce que les fausses alertes sont fréquentes, ils ne s'habillent qu'une fois dans le véhicule. L'ajout d'une veste connectée à enfiler spécifiquement pour les interventions, en plus de l'équipement réglementaire, nous apparaît ainsi comme une contrainte supplémentaire difficile à assumer dans les usages.

Ces résultats nous incitent à rediriger le projet vers une alternative qui nous semble plus cohérente : la reconception de la balise homme-mort sous l'aspect d'une montre connectée. En effet, la balise homme-mort équipe déjà traditionnellement les tenues lors des interventions au feu (figure 2). Déclenchant une alarme bruyante en cas d'immobilité prolongée, elle permet de secourir les agents en détresse. Mais elle peut être améliorée, notamment par l'ajout d'un système de géolocalisation. La logique relève cette fois-ci du mimétisme technologique : au lieu de laisser nos collègues ingénieurs s'entêter à développer un dispositif inutilisable, ayant toutes les chances de devenir un gadget prenant la poussière sur une étagère puisque pensé hors-sol, en



FIGURE 2. La balise homme-mort (localisée sur l'épaule) faisant partie de l'équipement d'intervention au feu des sapeurs-pompiers (crédit photo : auteurs 2023).

dehors des préoccupations concrètes du terrain, nous leur proposons plutôt de se couler dans les usages en partant de la culture technique des sapeurs-pompiers. De plus, deux éléments viennent justifier son redesign en forme de montre : d'une part, il s'agit d'un bijou déjà porté par beaucoup de sapeurs-pompiers, ce qui peut faci-

liter son appropriation ; d'autre part, la part des interventions au feu se révèle en réalité marginale dans l'activité effective des agents. La forme « montre » devient alors intéressante pour diffuser les fonctions de la balise homme-mort dans d'autres contextes, d'autres types d'intervention que les incendies, mais aussi d'autres temporalités comme les temps de repos ou les gardes à la caserne, où le danger d'accident cardiaque est tout aussi présent, sinon plus.

Quelle que soit la solution retenue pour prendre soin des invisibles, ou même du milieu dans son ensemble, il apparaît ainsi clairement que d'autres chemins que « l'acceptabilité sociale », au sens de faire accepter aux usagers – on pourrait aussi dire : faire « passer la pilule », ce qui était la raison des échecs listés au début du chapitre – des technologies à peine modifiées à la marge, souvent au moyen de la « communication » ou de la « pédagogie », sont possibles (Rey 2018). Encore faut-il ne pas verrouiller la technologie en amont mais au contraire garder les briques qui la constituent ouvertes un maximum de temps, de façon à pouvoir intégrer les données obtenues au cours de l'enquête, quitte à redéfinir radicalement les projets, les problèmes et les réponses.

2.3] Garder à l'œil les relations de pouvoir

Après le repeuplement du milieu et l'attention aux invisibles, la dernière de nos préoccupations doit être de garder à l'œil les relations de pouvoir. En effet, la question du pouvoir, des rapports de force ou de domination, traverse toujours les milieux d'une manière ou d'une autre. C'est la première leçon que nous apprend Jacques Vabre lorsque nous (ne) le rencontrons (pas) : la vie de la caserne est rythmée par une tension permanente entre les sapeurs-pompiers et les médecins qui les encadrent, les premiers craignant que les seconds ne leur ôtent leur aptitude opérationnelle, autrement dit leur autorisation médicale, incontournable pour être déployé sur le terrain. Comme nous l'avons souligné en début de chapitre, partir en intervention pour combattre le feu ou sauver des vies est souvent la raison première de l'engagement dans le métier. Pour la majorité des agents, perdre cet accès privilégié au terrain est donc vécu comme une forme de déclassement, de déchéance, voire d'humiliation. Cette donnée explique la mise en place par ces derniers de stratégies de résistance au quotidien, symboliques ou matérielles,

que nous observons lors de notre stage, comme le boycott du «cabinet du docteur» en cas de blessure, même minime.

Connaître et prendre en compte le pouvoir au sein des milieux est ainsi un point de passage obligé du design, le risque étant, sinon, de manquer ce qui s'y joue réellement, de rater la cible et, finalement, de concevoir «pour des prunes». Mais une difficulté de taille se présente à l'enquêteur qui souhaite se retrousser les manches et s'atteler à la tâche : le pouvoir est protéiforme. Il peut être institutionnel ou non, formel ou informel, résider dans l'autorité d'un individu ou d'un groupe social tout entier, s'incarner dans des objets divers et variés, ou bien encore dans des normes et des pratiques, parfois même si ancrées dans la société, comme la domination masculine si structurante de nos mentalités (Béréni *et al.* 2020), qu'on en arrive à oublier son existence, à ne plus (pouvoir) le voir. Dès lors, comment le détecter ?

Du point de vue méthodologique, l'identification des litiges, des controverses, des différends, des affrontements, en bref des «clashes», comme dans le projet RESponSE, constitue selon nous un bon point d'entrée pour y accéder. Cependant, si le pouvoir est changeant, le répertoire de sa contestation l'est tout autant. Ici, l'opposition se manifesterait sous les traits protestataires de l'insaisissable Jacques Vabre. Ailleurs, elle prendra des formes encore plus visibles ou spectaculaires : elle sera une «zad» dans laquelle on construit des fermes (comme à Notre-Dame-des-Landes), une grève de la faim, une distribution de tracts, un sabotage technique, ou encore une consommation excessive de flageolets en vue d'émettre des flatulences dérangeantes (Chamayou 2020). Mais la résistance peut aussi se loger dans les détails : une attitude passive-agressive, un geste effectué à reculons ou en traînant les pieds, etc. Il n'existe donc pas une parfaite méthode de repérage de la contestation du pouvoir, une «recette» qui fonctionnerait à tous les coups. Mais nous pouvons *a minima* adopter une démarche prudentielle visant à tenter d'aller à sa rencontre là où elle se trouve assurément, c'est-à-dire sur le terrain, par le biais de l'enquête. Et, là encore, l'entretien et l'observation, voire la consultation des archives y seront nos meilleurs alliés pour réussir à nous y confronter.

Si la question du pouvoir traverse inévitablement les milieux, elle traverse aussi, de façon fondamentale, le fait technique. La réflexion

est loin d'être révolutionnaire pour les sciences humaines et sociales et de nombreux chercheurs ont déjà développé des concepts pour s'en saisir : Ivan Illich qui définissait le degré de «convivialité» des outils en fonction des possibilités d'émancipation qu'ils offraient à leurs usagers (Illich 1973) ; André Gorz qui opposait les «technologies ouvertes» et les «technologies verrou», les premières facilitant le partage et la coopération, les secondes restreignant le champ de l'autonomie personnelle (Gorz 2008) ; Lewis Mumford qui distinguait les technologies «démocratiques», durables et contrôlées par l'individu, et les technologies «autoritaires», superpuissantes et centralisées en un point du système (Mumford 1964) ; ou bien encore Michel Foucault qui nommait «dispositifs» les techniques pratiques ou discursives (lois, discours, agencements architecturaux, institutions, etc.) à travers lesquelles s'exerce le pouvoir disciplinaire ou sécuritaire (Foucault 1975).

Pourquoi effectuer ce rappel ? Parce que nous ne pouvons feindre d'ignorer que nous dotons les artefacts que nous élaborons de qualités politiques et sociales (Winner 1980). Le cas de la domination masculine, dont nous venons de dire quelques mots, est éclairant à cet égard. Siri, l'intelligence artificielle vocale qui équipe les smartphones d'Apple, répondait ainsi jusque très récemment qu'on la faisait rougir lorsqu'on la traitait de «salope» («*bitch*» en anglais), participant ainsi à la reproduction et au renforcement des discriminations envers les femmes (Unesco 2019). En réalité, la domination masculine inscrite au cœur du design représente un grand classique de l'histoire des techniques. Par exemple, les automobiles sont généralement conçues à partir du seul référentiel masculin, si bien qu'une femme a 47 % de chances de plus qu'un homme d'être gravement blessée (et 17 % de chances de plus de mourir) dans un accident de la route (Criado Perez 2019). Mais d'autres objets techniques incarnent tout aussi bien d'autres types de contrôle ou d'autorité «by design», comme les bancs publics sur lesquels il est impossible de s'allonger et qui participent à rendre l'espace urbain hostile aux SDF (Labbé 2019) ou les logiciels de prédiction des crimes de plus en plus utilisés aux États-Unis qui reproduisent les biais racistes des bases de données de sa police (Richardson, Schultz & Crawford 2019).

En tant que concepteurs, nous pouvons donc choisir de rendre possible par la technique certaines formes d'existence positives dans

les milieux ou, à l'inverse, de dégrader un peu plus la situation. D'où l'importance de se demander : suis-je en train de concevoir par et pour le milieu, ou à partir d'autres éléments qui lui sont extérieurs? La voie technique que je poursuis enrichira-t-elle les acteurs qui le composent en favorisant leur émancipation ou y sera-t-elle la source d'un appauvrissement de leurs relations ou de leurs conditions de vie? Ce sont à toutes ces questions que nous devons faire face dans SBra et RESponSE. Dans le premier projet, nous contournons le risque de délégation du sale boulot aux personnels de santé travaillant avec les médecins en localisant des niches applicatives présentant les conditions matérielles et humaines propices à la passation de la brassière. Dans le second, notre souci est de ne pas ajouter de l'huile sur le feu d'une relation déjà tendue entre les sapeurs-pompiers et le service médical de la caserne qui leur délivre leur aptitude opérationnelle. Or, telles qu'elles ont été imaginées, les vestes connectées comportent des capteurs extrêmement fins, comme ceux mesurant la fréquence cardiaque maximale, qui rendent la production de données personnalisées incontournable.

Cette identification individuelle des agents que nous pourrions aider à mettre en œuvre nous met dans une posture délicate. Nous nous retrouvons en balance entre deux registres éthiques : d'un côté la généralisation du dispositif en l'état pourrait permettre de sauver des vies, ce qui était le but louable à partir duquel nous nous étions engagés dans le projet ; d'un autre côté, elle menace d'établir une hiérarchisation médicale entre les sapeurs-pompiers, ce qui entraînerait potentiellement un découragement chez les volontaires dispensant la majorité du temps d'une condition sportive inférieure à celle des professionnels et, en prolongement, une limitation du nombre d'agents opérationnels disponibles, alors même que la profession connaît déjà un recul de ses moyens depuis plusieurs années. Face à ce dilemme, nous optons finalement pour une reconception des fonctions des vestes connectées – déjà ergonomiquement transformées en montres à attacher au poignet – tournée vers une forme de minimalisme technologique : faisant table rase de tous les types de capteurs disponibles dans le scénario d'usage initial (température cutanée, fréquence respiratoire, électrocardiogramme, etc.), nous ne retenons qu'une mesure du pouls impersonnelle, déclenchant une alarme en cas de dépassement d'un seuil standard de brady-

cardie fixé à 45 pulsations par minute, pertinente d'un point de vue médical et préservant tout à la fois l'équilibre des forces sociales en présence.

Dans SBra ou dans RESponSE, notre principal souci aura ainsi été de ne pas détériorer un peu plus le milieu que nous avons devant les yeux. Mais nous aurions pu pousser plus loin encore notre réflexion sur les relations de pouvoir et leur extension dans l'espace et le temps, en envisageant par exemple les conditions d'une bonne réparabilité des technologies produites, souvent synonymes d'encapacitation ou d'accroissement de l'autonomie des usagers, ou bien en nous préoccupant de l'origine des matériaux qui les composent. En effet, l'extraction minière et ses effets délétères (destruction des écosystèmes, exploitation d'êtres humains) sont un impensé régulier de la conception technologique, qu'on peut en partie donner comme une conséquence du fétichisme de la marchandise décrit par Karl Marx (1993) : leur réalité est située trop loin du point de vue géographique, de même qu'elle est cachée derrière une infinité de chaînes et de réseaux commerciaux, si bien qu'il semble inopportun de s'en inquiéter. De là, la troisième et dernière maxime :

Demande-toi où passe le pouvoir.

3] Conclusion

Repeupler, repérer les réparateurs et garder à l'œil les relations de pouvoir, voilà donc les trois premières grandes exigences d'une méthode d'enquête sur les milieux. Nous avons à notre disposition pour ce faire, notamment, les armes de l'ethnographe et de l'historien : l'entretien, l'observation, l'analyse des archives. Mais d'autres recommandations restent à suivre, car une fois confrontés aux tortues ou à Jacques Vabre, il nous faut encore composer avec eux en les intégrant au processus de conception. Dans cette perspective, on retiendra l'utilité du maintien des briques technologiques ouvertes un maximum de temps, de même que de la redéfinition des scripts d'usage initiaux, l'idée étant de pouvoir assumer l'incertitude en conservant une marge d'indétermination qui rend la technique révisable et négociable. On pourrait également ajouter qu'il apparaît crucial de garder un lien pérenne entre les différents membres du collectif de travail constitué autour d'une même activité de création, afin d'éviter que chacun ne s'isole en retournant cultiver ses propres

objets dans son coin, et de s'assurer de la bonne communication entre eux : lorsqu'elle réunit une diversité d'acteurs, la conception est en effet l'équivalent d'une tour de Babel technique (Morel 2018), où personne ne parle le même langage. Dans ces circonstances, un effort supplémentaire d'ouverture au dialogue et à l'Autre s'avère nécessaire.

Pour aller plus loin

DENIS Jérôme & PONTILLE David (2022), *Le Soin des choses. Politiques de la maintenance*, La Découverte.

Cet ouvrage propose un vaste tableau des opérations de maintenance et de celles et ceux qui les réalisent. Il décentre le regard sur la vie au long cours des objets techniques, au-delà de la question de l'innovation. S'y dessine un rapport au monde et aux choses centré sur les questions de la fragilité, de la durée et du soin, à l'écart des prétentions à la toute-puissance des concepteurs ou de l'autonomie des techniques.

SINGLY François de, GIRAUD Christophe & MARTIN Olivier (2010), *Nouveau manuel de sociologie*, Armand Colin.

Cet ouvrage renouvelle l'apprentissage des méthodes d'enquête en sociologie. Il montre comment «regarder» (interroger) un terrain, et comment les outils d'observation et d'enquête sont comme des lunettes qui permettent de voir différents aspects de la réalité. Différentes techniques d'enquête sont proposées, puis mises en mouvement dans des chapitres mobilisant chacun un exemple particulier. On y découvre et s'y familiarise ainsi avec le raisonnement sociologique pour mieux comprendre un milieu particulier.

Bibliographie

AKRICH Madeleine (1987), « Comment décrire les objets techniques », *Techniques et culture* 9.

AL MASRY Zeina, BAZZARO Florence, CABARET Katy, DEMBINSKI Olivier, DEVALLAND Christine, GAY Catherine, REY Bénédicte, SIMONCINI Nicolas, TRICLOT Mathieu, ZERHOUNI Nouredine (2021), « Détection précoce du cancer du sein : étude de l'impact sociotechnique d'un soutien-gorge "intelligent" », *Santé publique* 33, p. 473-482.

ARBORIO Anne-Marie (1995), « Quand le sale boulot fait le métier : les aides-soignantes dans le monde professionnalisé », *Sciences sociales et santé* 3, p. 93-126.

ARBORIO Anne-Marie & FOURNIER Pierre (2001), *L'Enquête et ses méthodes : l'observation directe*, Nathan Université.

- BEAUD Stéphane & WEBER Florence (2010), *Guide de l'enquête de terrain. Produire et analyser des données ethnographiques*, La Découverte.
- BÉRÉNI Laure, CHAUVIN Sébastien, JAUNAIT Alexandre & REVILLARD Anne (2020), *Introduction aux études sur le genre*, De Boeck Supérieur.
- BORNET Corinne & BRANGIER Éric (2013), «La méthode des *personas* : principes, intérêts et limites», *Bulletin de psychologie* 524, p. 115-134.
- BOURDIEU Pierre (1986), «L'illusion biographique», *Actes de la recherche en sciences sociales* 62-63, p. 69-72.
- CHAMAYOU Grégoire (2018), *La Société ingouvernable*, La Fabrique.
- COLLINS Michael (2011), "Lift-Off" : July 1966, in Joseph J. Corn (ed), *Into the Blue: American Writing on Aviation and Spaceflight*, The Library of America, p. 337-352.
- COMBESSIE Jean-Claude (2007), *La Méthode en sociologie*, La Découverte.
- CORCUFF Philippe (1995), «Quand le terrain prend la parole... Éléments de sociologie réflexive», *L'Homme et la société* 115, p. 61-73.
- CRiado-Perez Caroline (2019), *Invisible Women: Exposing Data Bias in a World Designed for Men*, Chatto & Windus.
- DENIS Jérôme & PONTILLE David (2022), *Le Soins des choses. Politiques de la maintenance*, La Découverte.
- DESCAMPS Florence (2001), *L'Historien, l'archiviste et le magnétophone. De la constitution de la source orale à son exploitation*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France.
- FOUCAULT Michel (1975), *Surveiller et punir. Naissance de la prison*, Gallimard.
- FOURNIER Pierre (2006), «Le sexe et l'âge de l'ethnographe : éclairants pour l'enquête, contraignants pour l'enquêteur», *ethnographiques.org* 11.
- GEERTZ Clifford (1973), *The Interpretation of Cultures*, Basic Books.
- GORZ André (2008), *Ecologica*, Galilée.
- GOYON Marie (2005), «La relation ethnographique : une affaire de genre», *Socio-anthropologie* 16.
- GUCHET Xavier (2016), «La nouvelle agriculture : une transformation de la conception de la nature?», in Michel J.F. Dubois & Loïc Sauvée (dir.), *Évolution agrotechnique contemporaine. Les transformations de la culture technique agricole*, Presses de l'UTBM, p. 129-142.
- ILLICH Illich (1973), *La Convivialité*, Le Seuil.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021), "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", World Energy Outlook Special Report.
- KOHN Eduardo (2017), *Comment pensent les forêts*, Zones sensibles.
- LALLEMAND Carine & GRONIER Guillaume (2015), *Méthodes de design UX. 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*, Éditions Eyrolles.
- LELONG Benoît & GAYOSO Émile (2010), «Innovation avec l'utilisateur et plateformes collaboratives. Des modes d'engagement hétérogènes», *Réseaux* 6, p. 97-126.

- LABBÉ Mickaël (2019), *Prendre place. Contre l'architecture du mépris*, Payot.
- LINHART Robert (1978), *L'Établi*, Minuit.
- MARX Karl (1993), *Le Capital. Critique de l'économie politique, Livre premier. Le procès de production du capital*, PUF.
- MOREL Christina (2018), *Les Décisions absurdes III. L'enfer des règles, les pièges relationnels*, Gallimard.
- MORIZOT Baptiste (2016), *Les Diplomates. Cohabiter avec les loups sur une autre carte du vivant*, Wildproject.
- MUMFORD Lewis (1964), "Authoritarian and Democratic Technics", *Technology and Culture* 1, p. 1-8.
- NAEPELS Michel (1998), «Une étrange étrangeté. Remarques sur la situation ethnographique», *L'Homme* 148, p. 185-199.
- NOIRIEL Gérard (1990), «Journal de terrain, journal de recherche et auto-analyse. Entretien avec Florence Weber», *Genèses* 2, p. 138-147.
- NOVA Nicolas (2014), *Beyond Design Ethnography. How Designers Practice Ethnographic Research*, Head.
- NOVA Nicolas (2011), *Les Flops technologiques. Comprendre les échecs pour innover*, FYP Éditions.
- OLIVIER DE SARDAN Jean-Pierre (2000), «Le "je" méthodologique. Implication et explicitation dans l'enquête de terrain», *Revue française de sociologie* 3, p. 417-445.
- PICARD Fabienne & REY Bénédicte (2015), «Diffusion sociotechnique de la pile à combustible en France. Éléments d'appréciation à partir du regard des chercheur-e-s», in Marie-Christine Zélem & Christophe Beslay (dir.), *Sociologie de l'énergie. Gouvernance et pratiques sociales*, CNRS Éditions, p. 205-212.
- REY Bénédicte (2018), «L'acceptabilité des objets/services, de quoi parle-t-on?», séminaire Soc-Tech, Femto ST RECITS.
- REY Bénédicte, SIMONCINI Nicolas & TRICLOT Mathieu (2021), «Les sciences humaines et sociales en recherche technologique : vers une démarche de conception fondée sur l'ethnographie», in Pierre Lamard & Yves Lequin (dir.), *La Démocratie technique en travail*, Presses de l'UTBM, p. 187-205.
- RICHARDSON Rashida, SCHULTZ Jason M. & CRAWFORD Kate (2019), "Dirty Data, Bad Predictions : How Civil Rights Violations Impact Police Data, Predictive Policing Systems, and Justice", *New York University Law Review* 192.
- SIMONCINI Nicolas, CABARET Katy, PICARD Fabienne, BECHERIF Mohamed, RAMADAN Haitham S. & BETHOUX Olivier (2018), "Social Aspects of H2 Supply Chains – Hydrogen Technologies Genesis and Development. The Case of Myrte Platform", in Catherine Azzaro-Pantel (ed.), *Design, Deployment and Operation of a Hydrogen Supply Chain*, Elsevier, p. 293-307.

- SUDNOW David (1978), *Ways of the Hand: the Organization of Improvised Conduct*, MIT Press.
- TRACHMAN Mathieu (2013), « Une “planque pour mater des culs” : Sexualisation et déssexualisation dans une enquête sur la pornographie », *Terrains & travaux* 23, p. 197-215.
- UNESCO (2019), “I’d blush if I could: Closing gender divides in digital skills through education”, *Equals*.
- VERCHÈRE Céline, PIZELLE Pascal & HOFFMANN Jonas (2014), « La méthode CAUTIC », in Pascal Pizelle, Jonas Hoffmann, Céline Verchère & Aubouy Miguel (dir.), *Innover par les usages*, Éditions d’Innovation, p. 39-55.
- WACQUANT Loïc (2002), *Corps et âme. Carnets ethnographiques d’un apprenti boxeur*, Agone.
- WINNER Langdon (1980), “Do Artifacts Have Politics?”, *Daedalus* 1, p. 121-136.

Anticiper la constitutivité : observer, tâtonner, risquer

Charles Lenay

Le chapitre précédent a présenté les démarches qui permettent de partir à la rencontre des milieux et de se rendre sensible à l'intrication des phénomènes qui les composent à différentes échelles. Nous avons appris l'importance de repérer le sanglier qui se cache derrière la tortue... qui se cache derrière la plateforme hydrogène. Il s'agit désormais d'intégrer une autre dimension du milieu pour la conception : le caractère constituant des médiations techniques.

Avec les **chapitres 6 et 7**, nous avons vu que le milieu technique était constitutif de notre humanité, c'est-à-dire qu'il rendait possible nos activités et notre expérience humaine. Dire que le milieu technique dans lequel nous évoluons est constitutif s'oppose à l'idée que nous serions des êtres déjà pensants et conscients qui arriveraient dans un milieu technique pour considérer, comme de l'extérieur, comment il modifie nos façons d'agir, de percevoir et de penser. Au contraire, nous sommes toujours déjà impliqués dans un milieu technique, aussi bien au niveau individuel depuis notre prime enfance, qu'au niveau collectif et social, depuis le début de l'humanité, puisque l'espèce humaine a coévolué avec des milieux techniques. Avant même de devenir *Homo sapiens*, depuis plus de 3,3 millions d'années (Harmand *et al.* 2015) les premiers hominidés vivaient déjà entourés d'outils (Leroi-Gourhan 1964). Il ne s'agit donc pas seulement de percevoir et penser le milieu technique, mais bien de comprendre comment ce milieu nous permet de percevoir et de penser (depuis quatre mille ans des calendriers nous donnent un passé et un futur, des cartes nous donnent un espace

lointain, l'écriture nous donne l'histoire, les mathématiques, la démocratie, les religions du livre, etc.). Comme on va le voir, réfléchir à la constitutivité technique des activités cognitives oblige à adopter une forme de réflexivité sur le travail des concepteurs et en définitive sur notre propre travail dans cet ouvrage.

Accorder un rôle constituant aux objets et dispositifs techniques, revient à leur accorder une forme d'agentivité : ce ne sont pas des objets neutres sur lesquels on projetterait un sens, ni de simples moyens que l'on mobilise en vue de fins définies d'avance, mais bien des agents constitutifs des moyens de nos actions mais aussi de leurs fins, spécifiant à la fois les possibles et les problèmes que l'on affronte. La constitutivité signifie que les techniques n'agissent pas simplement sur notre façon de vivre comme cause déterminante, mais plutôt comme conditions de possibilité, contraignantes ou capacitanes suivant les cas. Les outils que l'on saisit et les environnements que l'on a construits ne nous font pas agir ou penser de telle façon précise, mais définissent des champs de possibles spécifiques. De façon directe ou indirecte, toute technique transforme le milieu de notre existence, nos possibilités d'agir et de sentir, modifie notre expérience vécue et reconfigure les relations sociales (Stiegler 1994).

La constitutivité, par définition, nous échappe : les nouveaux possibles qu'elle ouvre ne peuvent être complètement anticipés à partir des situations présentes. L'avenir est toujours inattendu, pas forcément pour le meilleur, ni d'ailleurs pour le pire... c'est pourquoi on parle bien d'avenir et non pas seulement d'un déroulement de causes prévisibles. Et pourtant il faut bien essayer de saisir ces effets de constitutivité. Tel est l'objet de ce chapitre.

Nous avons vu plus haut (**chapitre 7**) quelques pistes pour l'étude expérimentale des mécanismes de la constitutivité technique dans des situations simplifiées en laboratoire. Celles-ci nous offrent une petite grammaire des effets de constitutivité et fournissent des points de repère particulièrement utiles en situation ordinaire. Ici, il s'agit plutôt de proposer des méthodes pour appréhender les modifications de milieux réels dans leur infinie richesse. Pour cela on montrera l'importance de construire sur la durée des collectifs dans un milieu de recherche technologique.

Nous mobiliserons pour cette enquête de constitutivité un exemple qui nous servira de fil rouge : la conception de dispositifs de

suppléance perceptive avec les personnes aveugles ou malvoyantes. En effet, la spécificité de leur milieu technique est révélatrice d'effets de constitutivité qui nous échappent dans les situations d'interaction visuelles ordinaires.

On peut distinguer deux types de méthodes pour la conception quand il s'agit de produire une nouveauté technique pertinente dans un milieu donné. Soit, l'analyse et l'observation, soit la synthèse et l'expérimentation. Ces méthodes peuvent être associées mais renvoient à deux positions différentes de l'observateur.

1] Voie d'observation et d'analyse pour la prise en compte de la constitutivité des milieux sociotechniques

Les méthodes classiques de design, en particulier de design d'expérience (Norman 2013), commencent par l'étude du terrain pour comprendre les habitudes, opinions, attentes, difficultés, des utilisateurs potentiels. Cette enquête peut utiliser de multiples ressources qualitatives et/ou quantitatives. Par l'observation et l'enregistrement de l'activité des usagers, on peut produire des mesures et analyses de leurs comportements, ou bien, par des sondages et questionnaires on peut réaliser des analyses statistiques et des études de marché. On peut aussi mobiliser les méthodes de l'anthropologie ou des descriptions phénoménologiques de l'expérience vécue. Il est particulièrement important de demander aux acteurs eux-mêmes ce qu'ils en pensent, par exemple à travers des « focus group » (réunissant des utilisateurs potentiels pour récolter leur avis) ou bien de façon plus individualisée, on procède à des interviews, libres ou semi-directifs. Par exemple, les entretiens d'autoconfrontation (verbalisation assistée par des enregistrements de l'activité) ou des entretiens d'explicitation (interview tentant d'accéder en seconde personne à une description très fine de l'intimité d'une expérience passée) sont particulièrement riches pour comprendre les subtilités de l'expérience vécue dans une situation précise. On a aussi vu dans le chapitre précédent comment les ingénieurs, concepteurs et chercheurs devaient sortir de leurs préconceptions pour aller s'immerger dans le milieu social et technique concret des potentiels utilisateurs.

Toutes ces observations conduisent ainsi à une modélisation de l'existant, par exemple, on peut définir des personas, construire

une carte d'expérience (*experience map*) et chercher des « points de douleur » pour orienter la conception de dispositifs pertinents. Ou, autre exemple, en ingénierie cognitive, on peut identifier des goulots d'étranglement en termes de limitations entre capacités cognitives de l'utilisateur/opérateur et exigences de gestion des situations. Par exemple, on peut étudier la situation actuelle des personnes aveugles et observer les difficultés et opportunités apportées par les environnements informatiques. De façon très simplifiée, on peut découvrir du positif et du négatif. D'un côté, ils offrent un accès immédiat à une infinité de documents numérisés qui seront lus par synthèse vocale (ou sur barrettes brailles électroniques, **figure 1**). D'un autre côté, les interfaces graphiques rendent inaccessible la spatialisation de l'information sur les écrans.

Pour passer de telles analyses à la conception, il est tentant d'adopter une logique de résolution de problème. Il s'agit alors de partir d'une difficulté bien identifiée, pour la corriger, toutes choses égales par ailleurs. L'identification de limitations permettrait la spécification de dispositifs et de fonctionnalités pour les dépasser. On irait ainsi directement de l'étude des usages et de la connaissance des besoins, à la définition de la solution technique adéquate. Les besoins permettent d'écrire un cahier des charges, et l'on suppose qu'une procédure rationnelle conduira à la réalisation technique. Dans cette logique de conception déterministe, on aura tendance à comprendre l'innovation comme optimisation ou comme substitution, c'est-à-dire remplacement d'un dispositif qui fonctionne mal par un autre plus adapté.

Par une analyse rapide de la situation des personnes qui deviennent aveugles, on peut penser que leur besoin essentiel est celui d'une vision restaurée. Ce besoin définit alors un programme



FIGURE 1. Barrette de cellules brailles électroniques. Les lettres s'affichent sous forme de caractères brailles (8 picots par lettre). Ici dans cette version professionnelle, il y a 80 cellules (VarioPro de Ceciaa). La personne aveugle ne peut lire que ligne après ligne.

de recherche pour la fabrication de rétines artificielles. Il s'agit de fabriquer une surface de photorécepteurs qui remplacera la rétine et sera connectée au nerf optique. La logique est celle de la substitution : substituer un œil artificiel à l'œil malade. Dans un même esprit de réparation, mais dans une démarche directement biologique, on peut travailler à des thérapies optogénétiques qui procèdent par modification génétique de cellules de la rétine.

De telles méthodes d'étude de la situation actuelle peuvent être utiles mais elles sont insuffisantes et parfois trompeuses pour la conception de dispositifs nouveaux. En effet, une fois que le dispositif est introduit dans la situation réelle, il produit bien souvent des effets inattendus, des résistances ou des adaptations et détournements fonctionnels. Sa saisie par les acteurs auxquels il était destiné, fait voir autrement la situation et révèle bien d'autres composantes sociales qui étaient ignorées, de nouveaux acteurs apparaissent et un jeu d'interdépendances jusque-là négligées devient évident. Les utilisateurs en savent plus sur la technique que ses concepteurs parce que pour eux, la nouveauté reconfigure un milieu complet réel.

De plus, si l'invention se répand socialement (et devient ainsi innovation), elle peut produire des effets systémiques inattendus : une bonne idée locale peut devenir une catastrophe quand elle est généralisée (**chapitre 12**). Et comme on l'a vu (**chapitre 4**), ne serait-ce que par la finitude du système terre, il peut se produire de multiples effets en retour de la généralisation d'un choix technique (comme le coût énergétique, environnemental et social de la production des systèmes électriques et électroniques pour l'économie d'énergie).

Ces échecs relatifs s'expliquent d'abord par l'illusion de pouvoir comprendre les usagers comme s'ils étaient fixes et indépendants de changements dans leur milieu technique. Repérer les problèmes et points de douleur d'une situation va susciter le développement de dispositifs techniques... mais la définition d'un problème, même exacte et précise, ne contient pas en elle-même sa solution technique. On étudie des états de fait, des usages actuels, et non ce que produira le changement technique. Or, ce que les acteurs pensent, perçoivent et désirent est constitué par le milieu dans lequel ils vivent, c'est-à-dire un système sociotechnique de normes qu'ils peuvent suivre et utiliser, d'outils qu'ils peuvent saisir ou échanger,

et d'un environnement de machines et de réseaux qui supportent et contraignent leurs actions. À chaque fois que le milieu change, les conditions de possibilité de ces actions et perceptions changent, faisant advenir une nouvelle configuration des possibles et des finalités, des problèmes et des besoins (Button & Dourish 1996). C'est l'effet constituant des techniques : même si le nouveau dispositif peut aider, suppléer partiellement à un manque antérieur, en même temps, il supplémente, ajoute de nouvelles possibilités, permet des comportements différents qui n'étaient pas envisagés. Cela ne veut pas forcément dire augmenter, améliorer, mais plutôt reconfigurer la situation et offrir des possibilités de variations inédites et non anticipables. La logique de substitution qui guidait la conception produit finalement une suppléance. Il y a à la fois inadéquation et multiplicité de possibilités de variations techniques.

La réalisation de rétines artificielles (implants rétiniens) se révèle encore assez décevante. Il faut un apprentissage pour donner un sens visuel aux signaux électriques que transmet la rétine artificielle. Pour le moment, les utilisateurs n'ont accès qu'à quelques gros pixels. Le dispositif est encombrant : il faut une paire de lunettes équipée d'une caméra qui projette une lumière infrarouge sur cette rétine, et donc aussi un câble d'alimentation et un boîtier contenant processeurs et batteries. Les personnes aveugles peuvent se sentir mal à l'aise à l'idée de « passer pour des cyborgs » aux yeux des autres. Ainsi se révèle toute une problématique de l'apparence sociale visuelle des personnes aveugles qui avait été négligée.

Surtout, à la suite de l'opération pour installer la rétine artificielle au fond de l'œil celui-ci est immobilisé dans son orbite, ce qui retire en grande partie l'intérêt d'utiliser cet organe pour transmettre des informations visuelles au cerveau (sachant que l'activité des mouvements oculaires peut souvent compenser la pauvreté des signaux visuels reçus). Bilan, la promesse d'une substitution est déçue et plusieurs projets d'entreprise ont été abandonnés : Argus II (Second sight, États-Unis) et le Retina Implant (AG, Allemagne), ont renoncé, tandis que IRIS II (Pixium Vision, France) continue des tests.

La poursuite de l'idéal d'une telle substitution continue à guider l'effort de recherches technologiques et biologiques. Mais en attendant, on peut remarquer que toute réussite, même minime,

prend plutôt la forme d'une suppléance. Dès lors qu'on disposerait d'un canal pour envoyer vers le cerveau des informations de type visuel, de multiples variations techniques deviennent possibles : pourquoi pas exploiter ce canal pour des longueurs hors du spectre visible ? Pourquoi ne pas transmettre des écrans, de la visiophonie, des films... Dès lors qu'un dispositif technique est fonctionnel, il offre des possibilités nouvelles de variation par rapport à un organe naturel. On peut aussi se demander pourquoi forcément passer par le nerf optique, pourquoi ne pas distribuer l'information visuelle sous forme sonore ou tactile pour qu'elle rejoigne ainsi le système nerveux central ? C'est la démarche choisie avec les systèmes dits de « substitution sensorielle », comme le TVSS que nous présentons plus loin.

Ainsi, avec l'introduction de nouvelles techniques, les modes d'analyse, les façons de comprendre sont transformées. Un choix technique fait advenir des connaissances nouvelles spécifiques qui se révèlent par la pratique de cette technique.

Comment donc réussir la bascule d'une approche en termes de substitution à une approche qui vise les effets de suppléance et de constitutivité ? Un des facteurs clés tient à la structuration même du milieu de la conception et à la place du collectif. Dans les méthodes standards, même s'il se tient au plus près des acteurs, le concepteur maintient une position de surplomb, indépendante de la situation et des objets qu'il analyse. Il oublie ainsi que les conditions de l'analyse et de l'observation sont elles aussi établies dans le milieu sociotechnique présent. Si les effets d'une innovation sont inattendus pour le concepteur, c'est qu'il a oublié qu'il était lui-même une partie du système, emporté par des contraintes qui l'enveloppent. Le milieu technique est cognitivement constitutif. Il supporte nos façons de penser, non pas seulement par les outils du travail intellectuel (prise de notes, système de récolte de données, d'enregistrement, outils de calcul, spatialisation de l'information, etc.), mais aussi par la situation réelle qui structure notre imaginaire. On raisonne toujours à partir d'une situation techniquement construite qui s'impose concrètement et qui définit le pensable en même temps que des problèmes à résoudre. Concevoir en étant orienté par les milieux n'est pas simplement une affaire "objective", tournée vers un milieu étranger dans lequel se pose le problème, mais aussi une exigence

réflexive, qui suppose d'aménager un bon milieu de conception. La maxime générale pourrait en être :

Tu es toujours au milieu du milieu technique que tu prétends modifier.

C'est ce qui distingue la perspective d'une conception orientée milieux de la simple enquête de terrain, classique en SHS : il ne peut plus y avoir de position de surplomb. Le milieu concret qui définit les possibles, les craintes et les désirs, à un moment donné est en même temps la condition des analyses du sociologue, comme du technologue, du designer ou de l'entrepreneur. C'est pourquoi, dès lors que l'action humaine transforme le milieu, elle transforme en même temps les questions qui se posent et les façons d'y répondre.

Toute situation de conception impose un paradoxe épistémologique : le milieu actuel dans lequel nous pensons et concevons une nouveauté technique est radicalement transformé en un nouveau milieu quand elle est réalisée et utilisée. La nouveauté technique a été conçue dans le champ de possibles du milieu actuel, mais le milieu futur n'est pas la réalisation d'un possible contenu dans le premier milieu. Le champ de possible ne diminue pas mais se transforme (voir l'exemple des techniques d'aide vidéo à l'arbitrage développé **chapitres 1 et 6**). Ainsi, les techniques qui permettent de penser une nouvelle technique, ne permettent pas de penser ce que la nouvelle technique va donner à penser. Il y a un retard de la raison et donc une forme d'avance de la technique. C'est ce que l'on observe rétrospectivement dans les enchaînements historiques d'innovations dont les causes multifactorielles montrent qu'à chaque fois c'est tout le milieu sociotechnique qui rend possible le développement de techniques, et que ces techniques renouvelant le milieu font apparaître des effets inattendus et de nouveaux possibles. C'est ce que l'on peut thématiser comme « exaptation » (**chapitre 5**).

Prenons un exemple proche de nos propres travaux : un premier milieu d'innovation à la fin des années 1990 (la recherche de système d'aide pour les personnes aveugles ou malvoyantes) a conduit à la mise au point d'un logiciel et d'interfaces piézoélectriques permettant une perception tactile des formes sur les écrans d'ordinateurs (Système Tactos présenté au **chapitre 7, encadré 3**). Dans un second temps dans les années 2000, le nouveau milieu de conception formé par la présence de ce logiciel et de ses premiers utilisateurs (non

seulement des personnes aveugles, mais aussi des étudiants et des enseignants-chercheurs qui le mobilisaient pour leurs recherches) a révélé de nouveaux possibles auparavant impensables : si l'on peut toucher des formes sur un écran, pourquoi ne pas partager cet environnement numérique, et dans ce cas pouvoir toucher un autre utilisateur qui nous toucherait en retour ? Dès lors sont apparues de nombreuses possibilités de recherche sur les interactions perceptives et de multiples opportunités de conception techniques comme la création d'un internet tactile..., innovations qui n'étaient plus spécialement destinées aux personnes malvoyantes, mais à l'origine desquelles elles avaient contribué.

On doit donc admettre une absence de maîtrise, une humilité irréductible pour les sciences humaines et sociales comme d'ailleurs pour des sciences de l'ingénieur, ce qui pourtant ne peut pas conduire à l'inaction. Mais pour cela, le technologue, le philosophe, l'historien, le psychologue ou le théoricien des processus de design (et nous qui écrivons ce texte) doivent reconnaître l'incomplétude de leurs connaissances. C'est ce qu'on veut dire ici en préférant le terme de « milieu » à celui de « situation » qui disait déjà bien l'importance du contexte mais sans forcément y inclure l'observateur. On est tous au milieu du milieu.

Il faut donc prendre au sérieux le fait qu'il n'y a jamais de procédure pour une solution technique parfaite dans une situation donnée puisque l'action technique va la reconfigurer, faisant apparaître des nouveaux problèmes. Il ne peut donc malheureusement y avoir non plus de maîtrise sociale directe des développements technologiques.

2] Voie d'expérimentation et d'implication pour la prise en compte de la constitutivité des milieux sociotechniques

Les inventions ne résultent pas forcément de l'analyse d'un état de chose mais plutôt de multiples causes très diverses. La créativité humaine joue souvent sur des rencontres et transferts entre domaines d'activités hétérogènes. Par exemple, le développement d'instruments pour la recherche scientifique inspire des usages pour des situations quotidiennes, la conception de systèmes d'aide dans le monde du handicap inspire de nouvelles techniques utiles pour tous (la télécommande conçue pour les personnes déficientes motrices),

des techniques développées pour l'exploration sous-marine inspirent les scaphandres de l'exploration spatiale, des recherches dans le domaine militaire inspirent des techniques pour des usages pacifiques, et inversement.

Dans le cas de l'exemple que nous donnions plus haut, c'est dans le cadre de recherches fondamentales en psychologie de la perception, que nous avons développé un instrument pour l'étude expérimentale des conditions minimales de la reconnaissance de formes bidimensionnelles. C'est ainsi que l'on a d'abord créé le logiciel Tactos (**chapitre 7, encadré 3**). Il permet d'associer un stimulus tactile à la rencontre du curseur avec un pixel sur l'écran d'ordinateur. Une fois ce système réalisé et utilisé, il est apparu qu'il pouvait être légèrement modifié pour donner aux personnes aveugles un accès tactile aux informations disposées sur leur écran.

Par ailleurs, la création de nouveautés techniques dépend de contraintes internes, proprement technologiques. Par un dialogue avec les technologues il faut comprendre comment, pour eux, à chaque moment leurs connaissances et savoir-faire définissent des tendances et développements techniques possibles. Par exemple, depuis une cinquantaine d'années l'informatique semble porter en elle-même une tendance à la miniaturisation et à l'augmentation des capacités de calcul.

On rencontre souvent l'idée d'une toute-puissance technologique qui serait simplement au service des choix politiques ou économiques. Pourtant, des contraintes et tendances proprement technologiques résultent de la structure matérielle interne des objets ou systèmes techniques. Avec la prééminence actuelle des technologies numériques comme outils de conception (modélisation, analyse de données, calcul d'optimisation, etc.) et comme produits (applications, interfaces, réseaux), le risque est de croire à une liberté totale dans la conception qui serait comme l'écriture d'un programme informatique, simple combinaison de lignes de commande. Ce serait oublier les contraintes matérielles, physiques et biologiques, qui pourtant donnent toute leur signification et leur valeur aux dispositifs conçus. Il n'y a pas de libre calcul qui ne s'ancre pas sur des supports matériels. Il faut sans cesse négocier avec des limites de vitesse, de puissance, de mémoire, liées à des processeurs et réseaux qui mobilisent d'immenses ressources d'énergie (*data centers*), des

infrastructures mondiales (réseaux de câbles et de satellites), des systèmes de stockage (batteries) et des composants bien particuliers comme les terres rares qui impliquent de terribles conditions de travail et de grandes menaces écologiques. Et surtout, une création numérique ne peut avoir de sens humain qu'à travers les interfaces matérielles pour la commande et la perception (visuelles, sonores, tactiles). Il faut donc être attentif à la façon dont les programmes reconfigurent ces interactions corporelles et sociales pour comprendre les nouveaux possibles relationnels et normatifs dont ils sont porteurs.

Mais suivre les chemins de l'invention est bien loin d'expliquer pourquoi certaines seraient souhaitables et deviendraient des innovations qui se diffusent dans le milieu. Si donc, on ne peut s'appuyer sur une méthode déductive qui partirait simplement des besoins actuels, si l'on reconnaît aussi que les conséquences sociales et cognitives sont difficilement anticipables, il reste deux types d'issues.

Soit, l'abandon de toute précaution, comme pour ce qu'on appelle une «disruption». Suivant l'inspiration personnelle et le pari économique que l'on veut prendre, il s'agit de produire et diffuser une «innovation de rupture» sans chercher à mesurer, sauf pour des bénéfices à court terme, les bouleversements sociaux qu'elle provoquera. Cette action forte dans l'inconnu est une forme de violence puisqu'effectivement ces techniques pourront avoir des effets psychologiques et sociaux non désirables et pourtant difficilement réversibles. C'est ainsi que l'on voit tant d'applications informatiques qui plutôt qu'aider leurs utilisateurs les enchaînent à leur propre logique (ce qu'on appelle «prolétarisation»), ou piègent leur attention comme avec le défilement infini (*infinite scroll*) des applications Facebook, Instagram ou Twitter qui sont à l'origine d'addictions inquiétantes. L'expérience que nous vivons dans les années 2020 autour de l'IA générative (diffusion de ChatGPT) est un exemple de méthode disruptive par diffusion immédiatement mondiale.

Soit, on cherche plutôt à participer au processus de conception, travailler avec prudence sur les innovations proposées. Cette prudence implique concertation, coopération et expérimentation. On parle souvent de Design participatif ou de co-design (Asaro 2000). Pour cela, on peut construire des milieux de conception formés de collectifs situés, rassemblant des acteurs humains ou non humains

les plus divers (utilisateurs, designers, ingénieurs, artistes, experts, etc.) autour de prototypes, de maquettes et autres modes de représentations pouvant aider à saisir le sens des dispositifs techniques proposés. Par exemple, dans les ateliers de design-fiction, il s'agit de construire ensemble des scénarios pour imaginer des transformations dans lesquelles on s'implique. Remarquons bien que ce travail ne peut prendre forme que si on dispose de maquettes suffisamment fonctionnelles, ou du moins de mises en scène suffisamment réalistes pour pouvoir évaluer ce que donne à voir l'emploi du dispositif. Mais, comme on l'a vu dans le chapitre précédent, ce n'est pas toujours suffisant. Il faut aussi si possible amener le collectif sur le terrain : le milieu de conception doit s'installer en continuité avec le milieu socio-technique réel où les choix prennent sens. L'objectif de la mise en place de tels milieux de conception participative est de comprendre au mieux ce que les propositions techniques font de nous, comment elles modifient notre expérience individuelle et sociale. La maxime générale de prudence qui doit guider ce travail collectif serait :

Ne crois jamais tenir une solution avant d'avoir vu ses effets !

Pour cela il nous semble utile d'être attentifs aux points suivants :

Les logiques techniques. Il est particulièrement important de partager les contraintes proprement techniques, les points de difficulté que rencontrent les ingénieurs ainsi que leurs stratégies pour les contourner. La conception se réalise dans un processus où prolifèrent de multiples pistes alternatives qui peuvent d'ailleurs ouvrir de nouvelles perspectives d'usage. Il faut donc tenir ensemble une logique proprement technique des contraintes matérielles et structurelles intrinsèques des objets et dispositifs, et une logique fonctionnelle, sociale et expérientielle des usages de ces objets et dispositifs. On cherchera donc à tenir ouvert le champ de possibles techniques qui se révèle dans le processus de conception et à en conserver la mémoire (les bifurcations passées peuvent être source d'idées nouvelles pour le futur). En effet, les produits proposés seront ensuite certainement utilisés dans l'ignorance de leurs mécanismes internes et des conditions de leur genèse.

L'extension sociale et la multiplicité des acteurs. Quelles relations à la fois techniques et sociales apparaissent, quels sont les acteurs impliqués (constructeurs, fournisseurs, réparateurs, entre-

prises, etc.), quels nouveaux circuits techniques doivent se mettre en place ? On ne doit plus prendre « toutes les choses comme égales par ailleurs ». Au contraire, ce sont tous les effets de contexte qu'il faut tenter de saisir, tout ce qui déborde du cadre des premières analyses. Il s'agit de faire advenir un monde englobant, en étant ensemble au milieu du milieu.

Pour réfléchir sur le logiciel Tactos, nous avons créé une association « TactOse » avec les premiers acteurs concernés (personnes aveugles, personnes aidantes, chercheurs, technologues, étudiants et bénévoles) pour considérer ensemble ce que donne à vivre et percevoir ce dispositif. Immédiatement sont apparus d'autres acteurs auxquels on n'avait pas pensé : les chiens d'aveugles, les écoles dédiées ou les aides à l'insertion en environnement scolaire ordinaire, les développeurs de site web et applications mobiles, etc.

Les effets de suppléance, de constitutivité. Les contraintes propres du fonctionnement des dispositifs techniques définissent des schèmes d'usage, c'est-à-dire de pratiques d'actions, perceptions et interactions qui peuvent prendre une valeur sociale normative. Il s'agit donc d'être attentif non pas seulement à ce que résout le dispositif dans la situation initiale, mais à ce qu'il fait voir, à ce qu'il reconfigure dans notre façon de vivre. Le dispositif technique fait toujours plus et différemment que ce qu'on lui demande de prime abord. Est-il possibilisant, encapacitant ou bien plutôt contraignant, aliénant, et ceci selon les domaines et modes d'usage qu'il faudrait anticiper ? Pour cela on peut observer par l'alternance entre la saisie et le lâché du dispositif technique, la façon dont apparaissent ou disparaissent de nouvelles perceptions et activités, de nouveaux imaginaires et de nouveaux problèmes.

La prise en compte de cette constitutivité technique peut conduire à la mise en place d'un programme de recherche sur les mécanismes par lesquels le milieu technique façonne nos activités cognitives, nos relations sociales et notre expérience émotionnelle. Il s'agirait de produire des schèmes explicatifs, des façons d'expliquer comment un outil saisi ou un environnement structuré transforme notre expérience vécue. De telles connaissances seraient certainement utiles (nous nous y sommes essayés **chapitre 7**), mais par principe elles resteront toujours incomplètes puisqu'elles-mêmes produites à partir d'un cadre technique. Il est bien difficile de prévoir les conséquences

de la diffusion à grande échelle d'une technologie (combien de rêves transformés en cauchemar).

La pratique du bricolage. Le plus souvent ce type de démarche débouche sur des suggestions de modification. On entre dans des cycles d'évaluation et reconception. Ce que l'on appelle souvent «bricolage» pour le déconsidérer ou le cacher, peut plutôt se comprendre comme la véritable marche des processus de conception. S'il n'y a pas de position de surplomb du concepteur par rapport au domaine d'application de ses techniques, et si donc il s'implique dans la situation qu'il prétend modifier, alors, en dialogue avec les autres acteurs, il comprendra ce qui pose problème, ce qui le conduira vers d'autres propositions techniques, qu'il faudra aussi essayer... On peut espérer qu'ainsi, progressivement, puisse se définir une innovation suffisamment valable et robuste qui pourra se diffuser plus avant.

Dans certains cas, on peut aller plus loin que la création de groupes de travail éphémères. S'ils le veulent, et s'ils en ont la disponibilité, les utilisateurs initialement visés peuvent s'inscrire dans une démarche de recherche technologique participative, partagée avec les autres intervenants, chercheurs en sciences humaines, technologues, étudiants, institutionnels. C'est ce que nous avons voulu faire à l'UTC en créant l'association «TactOse». Il s'agit alors d'embarquer les personnes aveugles dans des processus de recherche et d'innovation qui n'ont plus forcément pour finalité de répondre à leur situation particulière, mais qui peuvent par exemple concerner les «situations de handicap» dans lesquelles on peut tous se trouver.

Reconnaître les valeurs engagées.

Dans la mesure où il n'y a plus de position de surplomb, on ne peut plus revendiquer de neutralité des techniques ou de neutralité des processus de conception (neutralité qui reviendrait à dire que le bien ou le mal d'une technique est seulement dans son bon ou mauvais usage). La technique étant développée dans le milieu même de ses conditions de possibilité et de ses usages, elle incarne les choix motivés des acteurs. Au cœur même du processus de conception des valeurs sont en actes puisque le processus de recherche technologique est orienté vers ce que l'on conçoit ensemble comme désirable. Il peut bien sûr y avoir débat, et c'est ce qui rend plus explicite les valeurs que l'on tente d'incarner dans les dispositifs techniques.

Le travail dans une association comme TactOse est essentiellement motivé par les valeurs des participants (comme association 1901, toutes les activités sont bénévoles). Suivant les uns et les autres, il s'agira par exemple de rencontrer d'autres personnes avec leur altérité, d'inventer de nouveaux modes d'action collective, de promouvoir une autre forme de relations entre l'université et son environnement, d'inventer de nouveaux possibles, réaliser un engagement politique concret.

Pour aller plus loin

ASARO P.M. (2000), "Transforming society by transforming technology: the science and politics of participatory design", *Accounting, Management and Information Technologies* 10, n° 4, p. 257-290.

Cet article propose une synthèse historique de différentes méthodes de conception basées sur la participation des utilisateurs (*Joint Application Design*; *Socio-technical Systems Design*; *Participatory Design*). Il montre l'enchevêtrement des plans scientifiques et politiques dès lors que l'on est attentif à la façon dont les technologies peuvent transformer les conditions du travail et la société en général.

NORMAN D. (2013), *The Design of Everyday Things*, revised and expanded ed., Basic Books.

Ce livre classique de Donald Norman, développe un design centré sur l'humain à travers l'étude de l'expérience vécue de l'utilisateur (*User eXperience Design*). Il introduit l'idée d'affordance en design : la perception intuitive, directe, des possibilités d'action qu'offre l'objet. Il montre l'importance d'une analyse des utilisateurs et de leurs besoins dans le processus de conception.

TIXIER M., LENAY C. GARIBALDI G. & AUBERT D. (2018), "Rethinking the Accessibility of Digital Content with Perceptual Supplementation System through the Lens of an Ethics of Care", *Interaction Design and Architecture(s) Journal (IxD&A)* 38, p. 140-154.

Cet article développe l'exemple des systèmes d'aide pour les personnes aveugles que nous avons utilisé dans ce chapitre. La réflexion sur l'accessibilité aux contenus numériques est conduite à travers le prisme d'une éthique du soin.

Bibliographie

- ASARO P.M. (2000), “Transforming society by transforming technology: the science and politics of participatory design”, *Accounting, Management and Information Technologies* 10, n° 4, p. 257-290.
- HARMAND S. *et al.* (2015), “3.3-Million-Year-Old Stone Tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya”, *Nature* 521, n° 7552, p. 310-315.
- LEROI-GOURHAN A. (1964), *Le geste et la parole. Technique et langage*, vol. 1, Albin Michel, 1964.
- NORMAN D. (2013), *The Design of Everyday Things*, revised and expanded ed., Basic Books.
- TIXIER M., LENAY C. GARIBALDI G. & AUBERT D. (2018), “Rethinking the Accessibility of Digital Content with Perceptual Supplementation System through the Lens of an Ethics of Care”, *Interaction Design and Architecture(s) Journal (IxD&A)* 38, p. 140-154.

Partie IV

Concevoir pour les milieux

Évaluation, valeurs, valuation

Nathalie Kroichvili & Bénédicte Rey

Dans toute formation à la gestion de projet (notamment de conception technique), on recommande aux porteurs d'accompagner le projet par la définition d'indicateurs, parfois regroupés dans un tableau de bord, de façon à le piloter dans son déploiement (et rectifier les actions ou l'objectif en cas de dérive par rapport à ce qui était planifié) et pour en mesurer la performance à l'issue (c'est-à-dire les résultats par rapport aux objectifs fixés et aux ressources investies). L'évaluation est ainsi au cœur de la gestion de projet.

Même si elle n'est pas nouvelle et n'est pas d'abord liée au monde de l'entreprise (Desrozières 2008, Le Moëne & Parrini-Alemanno 2010), l'évaluation s'est développée pour mesurer l'efficacité du système de production et la rentabilité du capital dans l'univers managérial, et s'est imposée progressivement dans toutes les sphères de la société depuis le tournant des années 1980. Cette passion pour la mesure et la production de résultats chiffrés s'est étendue à toutes les activités sociales (Dagiral *et al.* 2019), économiques, mais aussi de recherche et de conception, ancrant dans le sens commun l'idée que la quantification serait d'une part nécessaire, d'autre part objective. Nécessaire car les ressources (des entreprises, des ménages, de l'État, de la planète, etc.) étant limitées, il s'agit de bien les gérer ou mieux, de les optimiser. Objective, ou plutôt perçue comme telle, car l'évaluation, quand elle repose sur des indicateurs quantitatifs, est considérée comme plus rationnelle, plus sérieuse que d'autres types d'analyse des pratiques et surtout elle paraît affranchie de l'affect et des intérêts de l'évaluateur.

Comme l'écrit Martin (2020, p. 3), nous vivons dans l'empire des chiffres, «le nombre [étant] omniprésent» au point que nous finissons par «lire le monde à travers les chiffres». Les chiffres sont ainsi censés objectiver une situation donnée, permettre son évaluation objective, en faisant apparaître la vérité de manière rationnelle, et en libérant de l'opinion, du jugement reposant sur des valeurs ou idéaux propres. Par les chiffres, on éloignerait la subjectivité de ceux qui évaluent la situation.

Or, évaluer possède deux sens selon le Petit Robert : évaluer, c'est «porter un jugement sur la valeur, le prix d'[une chose, d'un projet, d'une pratique]», ou encore «déterminer (une quantité) par le calcul sans recourir à la mesure directe». Plus intéressant, évaluer, c'est «fixer approximativement». On est loin de l'établissement d'une valeur indiscutable ; de plus, la mesure quantitative n'apparaît ici que comme une option parmi d'autres pour établir ce jugement.

Dans tous les cas, les chiffres et indicateurs sont produits, construits ; l'on se saurait se passer de la compréhension de leur mode de production, car leur construction met en jeu des valeurs, voire des institutions (Vatin 2011, Martin 2020, Vivès 2019). Parfois critiquée au travers du terme de «quantophrénie»¹, que l'on peut traduire comme une maladie du chiffre, du chiffrage, de la mise en équation et en mesure de n'importe quelle question qu'elle soit sociale, économique ou technologique, cette appétence pour la mesure masquerait l'importance des valeurs qui participent de sa construction, et tendrait à faire croire que l'évaluation elle-même en est débarrassée. Peut-on vraiment se passer des valeurs dans l'évaluation ? Chassées par la porte (apparente des chiffres), les valeurs (à travers le jugement et les chiffres eux-mêmes) ne reviennent-elles pas par la fenêtre de l'évaluation ? Et si tel est le cas, est-ce un problème ?

1] L'évaluation dans le milieu des ingénieurs

Dans le domaine de l'ingénierie, le calcul et la modélisation sont centraux (Vatin 2008, Vinck 2014), l'enjeu étant d'accompagner l'action (la piloter).

[1] Ce terme est attribué à Pitirim Sorokin, sociologue américain (1956).

L'évaluation de la performance permet de relier la situation effective et la situation espérée (objectifs) et s'applique à toutes les activités de l'entreprise. En particulier, la conception impactant la performance globale de l'entreprise, cela implique «une parfaite conduite du système de conception [passant par] une modélisation du système de conception en vue de sa conduite, une démarche opérationnelle et des outils associés contribuant à l'évaluation du système pour aider aux bonnes prises de décisions de pilotage» (Robin 2005, p. 19).

L'évaluation est le plus souvent associée dans le domaine de l'ingénierie aux termes suivants : mesure, indicateurs, quantification, optimisation, maîtrise. Les indicateurs sont devenus plus fins au cours du temps, se sont diversifiés (s'éloignant de la performance taylorienne en termes d'efficacité) et sont considérés de manière croissante de façon articulée ou systémique. Les modèles et les démarches se sont complexifiés et multipliés pour s'adapter à des contextes variés d'évaluation (y compris en ne fixant pas l'objectif au départ, dans une démarche itérative et de logique floue). Ainsi pour l'ingénieur, le réel peut être approché par le calcul dont la précision s'accroît progressivement du fait de la sophistication des outils et des démarches calculatoires. L'enjeu est de déterminer un optimum qui correspond à la meilleure situation possible compte tenu des contraintes, afin de servir de point d'appui à une décision rationnelle (encadré 1).

**Encadré 1. Activité : déterminer un optimum forestier
pour la gestion durable de la forêt (figure 1)**

Même quand le foncier appartient à un propriétaire privé (qui cherche à en tirer des revenus par la vente de bois), la forêt est un bien commun au sens où elle remplit de multiples fonctions pour des acteurs variés, potentiellement en conflit (elle joue notamment un rôle dans la lutte contre le réchauffement climatique en étant un puits de carbone). Les ingénieurs



FIGURE 1. Exploitation forestière en Franche-Comté. © Kroichvili 2023, C-BY-NC-SA.

forestiers se sont donc efforcés de calculer un optimum forestier, qui correspond à la date optimale où la forêt doit être coupée pour maximiser l'intérêt des propriétaires en même temps que celui de l'État, qui lutte contre la déforestation en veillant à ce que la forêt ne soit pas coupée de manière trop fréquente et trop précoce. Pouvez-vous les aider à calculer cet optimum en décrivant la méthodologie de calcul? Vous préciserez la fonction à optimiser, ainsi que les données à recueillir.

Calculer un optimum

Définir des cibles, mesurer des variables ou des indicateurs, formaliser et modéliser, s'appuyer sur les mathématiques, bref sur une démarche rationnelle et rigoureuse, tout cela ne garantit pas la performance de l'évaluation. En particulier, le calcul d'un optimum n'est pas toujours chose aisée. Ainsi, Vatin (2008) examine au début du XIX^e siècle le cas du corps des Ingénieurs Publics Forestiers (conçu sur le modèle du corps des Ponts et du corps des Mines), dont la mission a été de définir une méthode de gestion optimale de la forêt de façon à trouver un compromis entre les intérêts des propriétaires privés de forêts (qui cherchent à exploiter la forêt pour en tirer des revenus) et l'intérêt public de la collectivité défendu par l'État (qui vise à limiter la déforestation). Il montre que malgré les efforts de plusieurs générations d'ingénieurs forestiers, ceux-ci ont fini par reconnaître l'impossibilité, par le calcul, d'aboutir à une décision rationnelle. Au lieu d'un optimum productif forestier, ils ont mis en évidence que plusieurs «maxima» techniques emboîtés, difficiles à mesurer, pouvaient être identifiés.

Ainsi, le maximum de la productivité marginale par rapport au temps (l'âge de la forêt où son accroissement par rapport au pas de temps considéré, généralement une année dans les climats tempérés, est maximal) apparaît comme l'optimum mathématiquement approprié. Mais doit-on le calculer sur la base de «l'accroissement» (croissance du volume effectif des arbres) ou du «grossissement» (croissance de leur circonférence), sachant que ces deux grandeurs ne sont pas liées par une relation linéaire, le grossissement pouvant décroître, tandis que l'accroissement se poursuit? Par ailleurs, doit-on considérer le maximum individuel (d'un arbre) ou collectif de la forêt? Le second dépend de l'implantation des arbres dans la forêt qui peuvent se gêner mutuellement dans leur croissance :

c'est notamment le cas lorsque la croissance d'un arbre absorbe les ressources – on parle de compétition racinaire ou aérienne pour l'accès à la lumière (Blaise & Reffye 1994) – ce qui nuit à la croissance des autres.

Les ingénieurs publics forestiers ont également observé que le milieu (notamment les conditions météorologiques) avait une incidence sur le calcul. Ils ont donc privilégié le maximum du produit moyen au maximum du produit marginal pourtant indiqué mathématiquement², de façon à lisser les variations annuelles dépendant de conditions extérieures.

Ils ont également découvert que des considérations financières entraient en ligne de compte, ce qui conduisait à définir un « maximum composé » en argent, difficilement compatible avec le « maximum simple » en matière. En effet, pour le propriétaire de forêt, celle-ci représente un capital, dont il peut tirer profit soit en vendant le produit de la coupe à la date qui pourrait lui assurer un maximum de revenus correspondant à l'optimum en « matière forestière » que peut produire la forêt en fonction du temps de pousse (si tant est qu'on puisse déterminer cet optimum, comme déjà évoqué), soit en coupant sa forêt avant la date optimale et en plaçant l'argent issu de la vente de matière au taux d'intérêt en vigueur, ce qui lui procure une rente annuelle. Les ingénieurs forestiers ont pu mettre en évidence que ce maximum composé, qui dépend de paramètres tant naturels qu'économiques, était généralement atteint beaucoup plus vite que le maximum simple (vingt à trente ans contre au

[2] Le produit moyen est la moyenne annuelle de la « matière forestière » (quantité de bois) produite sur la période de temps, tandis que le produit marginal est la matière forestière produite au cours de la dernière année considérée, laquelle dépend de paramètres externes plus fortement que le produit moyen (par exemple une sécheresse peut très fortement impacter le produit marginal et plus faiblement le produit moyen si elle est exceptionnelle). On observe cependant que le produit moyen continue à croître tandis que le produit marginal diminue jusqu'à ce que l'accroissement/grossissement moyen soit égal à l'accroissement/grossissement marginal. Vatin (2008) montre également que dans ce débat entre ingénieurs forestiers, certains ont même contesté la possibilité de déterminer un maximum de produit moyen sur la base des relevés statistiques de la croissance des arbres.

minimum cinquante ans). Cela rend plus difficile l'établissement d'un accord entre propriétaires de forêt et État.

Cet exemple, développé par Vatin (2008), montre que la détermination d'un optimum «en soi», indiscutable, est difficile, voire impossible, et que des choix – dépendant de conflits-compromis entre intérêts en présence – doivent être faits sur la méthode de calcul. C'est ce que les ingénieurs intègrent généralement dans leur fonction d'optimisation sous l'appellation «contraintes».

Sophistiquer les modèles pour se rapprocher du réel

Au-delà de la difficulté à calculer un optimum, on constate que malgré la sophistication des modèles, ceux-ci peinent généralement à saisir la complexité des systèmes techniques. C'est le cas par exemple des analyses en cycles de vie (ACV ou LCA en anglais), dont l'utilisation pour mesurer l'impact environnemental des innovations techniques se répand, voire devient la norme. Destinée à calculer la consommation de matières premières et d'énergie, ainsi que la production de déchets ou autres nuisances environnementales tout au long du cycle de vie d'un produit et/ou service, cette méthode se heurte pourtant à de nombreuses difficultés dans son application.

La première est la difficulté à tracer les chaînes logistiques dans le cadre de la mondialisation (Freidberg 2013) : en effet, du fait de la fragmentation des processus productifs par les entreprises, de façon à bénéficier de conditions optimales offertes par les différents territoires en termes de coût, l'identification du chemin parcouru par un produit est extrêmement difficile à établir sur son cycle de vie, de l'extraction des matières premières nécessaires à la production des composants dont il est constitué jusqu'à l'assemblage final, mais aussi en tenant compte de son usage (qui nécessite parfois des combustibles, comme dans le cas de la mobilité), sa maintenance et son recyclage. C'est ce que montre l'exemple du Fairphone dans le **chapitre 2**.

La seconde difficulté est la définition du modèle d'ACV lui-même qui suppose que le périmètre des acteurs et l'unité fonctionnelle (l'unité de mesure du service rendu par le bien ou service pour permettre la comparaison avec d'autres biens ou services) soient parfaitement définis, ce qui n'est évidemment pas possible dans le cadre de la conception de nouveaux produits/services, ni non plus dans le cas où un produit a plusieurs vies (Amaya *et al.* 2014). Ainsi, pour des usages qui n'existent pas ou seulement dans le cadre de

démonstrateurs, il est difficile de définir précisément ce qui doit être mesuré. Par exemple, si l'on veut étudier l'impact environnemental sur le cycle de vie d'une batterie de véhicule électrique, en imaginant plusieurs vies de la batterie, l'un pour un usage mobilité en première vie, l'autre pour un usage stationnaire en seconde vie, la fonction de la batterie (son usage et les caractéristiques qui lui sont liées) et le réseau d'acteurs impliqués dans la production et l'usage ne sont pas identiques dans ces deux vies, d'où l'extrême difficulté de définir l'unité fonctionnelle au cœur d'une ACV³. Par ailleurs, les acteurs peuvent ne pas encore pleinement exister, ou être identifiés pour une filière économique qui n'existe pas encore (dans le cas d'étude précédent, pour la collecte, le reconditionnement, l'installation et la maintenance des systèmes de batteries pour des applications stationnaires).

Enfin la troisième difficulté pour conduire une ACV réside dans la définition des paramètres du modèle qui peut poser des problèmes de mesure⁴ mais également générer des conflits d'intérêts des acteurs du milieu, ce qui montre qu'il ne s'agit pas simplement d'un problème technique mais également d'un choix de nature politique. Ainsi Freidberg (2013) prend l'exemple des débats vifs en France autour de la mesure de l'empreinte environnementale de l'élevage de canards, qui ont opposé les producteurs de foie gras et les vendeurs du produit joint, à savoir la viande de canard (reste de la carcasse). Les premiers défendaient la position d'un bilan carbone fondé sur le poids (le poids du foie comparé au reste de la carcasse étant très faible, l'impact de l'activité est réduit), les seconds une allocation des émissions de carbone et de l'eau utilisée au prorata de la valeur économique générée, au motif que les canards étaient gavés avant tout pour leur foie, dont la vente était très rémunéra-

[3] Dans le cadre du projet européen ERA-NET+ Electromobility ABattReLife (2012-2015), l'unité fonctionnelle pour ce cas d'étude a été définie après de longues discussions comme suit par les partenaires du projet : « Fournir 16 kWh de stockage d'énergie pendant 10 ans dans la première application véhicule électrique, puis fournir 6 kWh stockage d'énergie pendant 7 ans dans l'application de stockage d'énergie pour une habitation individuelle. »

[4] Comme le montre, dans un autre registre que l'ACV, Leroy (2002) pour la mesure de la température de l'air et des précipitations en météorologie, malgré la simplicité des principes physiques associés.

trice, et non pour leur viande. Un mode de calcul en masse ou en valeur est-il plus objectif que l'autre ? Le calcul est borné ici par des choix de valeurs que l'on ne peut éliminer de l'évaluation.

Améliorer de façon continue les procédures d'évaluation

Par ailleurs, même lorsqu'un objectif est fixé et la démarche de mesure établie (par une norme par exemple qui garantit au moins que le mode de calcul est harmonisé entre les acteurs), rien ne garantit la performance. C'est ce que révèle l'affaire du *Dieseltgate* en 1995. Alors qu'au niveau européen le règlement (CE) n° 715/2007⁵ visait à définir une norme pour les émissions polluantes (NO_x et particules fines) et pour les émissions de CO₂, et à contrôler l'application de cette norme par les constructeurs de véhicules particuliers et d'utilitaires légers, plusieurs constructeurs ont été reconnus coupables de produire des véhicules ne respectant pas ces normes. Si l'on omet la fraude de Volkswagen révélée en 2015 et de plusieurs autres entreprises automobiles par la suite qui avaient conçu des logiciels afin de minorer les émissions au moment des tests d'homologation (ce qui signifie que l'on peut tricher avec la mesure), ce sont les conditions de ces tests, en laboratoire (c'est-à-dire un banc d'essai constitué d'accélération, de décélération et de paliers à vitesse constante sur une durée de 20 minutes) qui posent problème. Ils ont été depuis complétés par une procédure de contrôle des émissions en conditions réelles, avec un écart cependant toléré. Malgré l'amélioration de la procédure, cet exemple montre bien que toute mesure est imprécise et reste relative à son contexte de mesure. Elle rappelle également que les modalités de la production de données sont le fruit d'un compromis entre acteurs sur ce qui est acceptable ou non à un moment donné du temps (la production de données est ainsi « socialement située »).

Préférer le calcul, même imparfait, à une absence de mesure pour fonder les choix sociaux

Selon Vatin (2008, p. 137), « L'ingénieur connaît parfaitement l'imprécision, l'impureté, voire parfois même la fausseté de sa mesure. Mais, pour lui, « mieux vaut une mesure médiocre que

[5] Règlement (CE) 715/2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6).

pas de mesure du tout». Car la mesure est la condition de la décision. Et tel est l'enjeu de son art». L'ingénieur semble ainsi écartelé entre la demande sociale d'objectivité par le calcul et la connaissance des limites des procédures d'évaluation quantitative face à la complexité du réel. Vatin va même plus loin en montrant que le calcul de l'ingénieur ne vise pas à exclure les valeurs mais à éclairer les choix sociaux: «La formalisation, loin d'exclure les choix de valeurs, les exacerbe. En poussant le raisonnement à ses limites, on fait apparaître les choix dans toute la crudité de leur arbitraire» (Vatin 2008, p. 148).

Ainsi, par exemple, si l'ingénieur ne peut pas se prononcer sur l'opportunité ou non d'orienter l'argent des contribuables pour effectuer des travaux de voirie afin de réduire le caractère accidentogène d'une zone, il peut produire des éléments pour que les élus prennent cette décision en calculant le coût de la vie humaine. Même si ce calcul apparaît cynique (en vertu du principe éthique que «la vie humaine n'a pas de prix»), il permet de fonder la décision publique sur des calculs (qui peuvent refléter des choix de société) plutôt que sur l'opinion de celui qui prend la décision, et il offre une boussole qui guide l'arbitrage entre les dépenses, le budget de l'État étant limité. Pour le dire autrement, ce calcul permet d'orienter l'argent public vers des investissements qui sauveraient potentiellement plus de vies humaines que d'autres. Crozet *et al.* (2003) montrent que le concept de «coût de la vie humaine» apparaît dans les années 1950 en France et était fondé à l'origine sur la méthode du «capital humain» pour son calcul, à savoir la somme de trois composantes (dont la première constituait l'essentiel de l'agrégat pour des raisons de facilité d'estimation): une perte de production (du fait du travail non réalisé par la personne décédée); une perte affective pour ses proches (évaluée par les indemnités – variables – des assurances et tribunaux); un *pretium vivendi* (du latin, «prix de la vie») qui estime le préjudice lié à la privation de la vie et on pourrait ajouter un *pretium doloris* (du latin, «prix de la douleur») qui correspond à l'évaluation du préjudice de la souffrance physique et morale car cette méthode est aussi employée pour les blessés, par exemple dans des accidents de la circulation routière.

À cette méthode comptable basée sur l'imputation des coûts mais qui comporte des biais liés au statut de la personne ou la

période considérée pour le calcul⁶, on a opposé progressivement des méthodes contingentes fondées sur la révélation des préférences collectives avec la détermination du « consentement à payer » pour éviter la mort d'un individu. On passe d'une logique d'évaluation du coût du dommage à une évaluation du coût d'évitement. Or, tant le choix de la méthode que le montant du consentement à payer ont évolué au cours du temps, preuve s'il en est que les outils et les variables (comme leur nom l'indique, au demeurant) évoluent selon les valeurs de la société et reflètent la préférence d'une société à un moment donné du temps pour l'usage collectif d'un bien ou un service ou encore un investissement public, compte tenu des risques qui lui sont associés. Ainsi les avantages offerts par la consommation de masse d'automobiles (démocratisation de l'usage pour les classes moyennes, modernité, croissance économique du fait de la production de masse) « valaient » (de manière implicite) qu'on en paie le tribut humain dans les années 1960-1970. Ce coût humain (puis progressivement environnemental) a en revanche été jugé insupportable au tournant des années 2000, d'où le doublement du « coût du mort » entre 1994 et 2001 (mais, étant donné que la valeur de l'unité monétaire n'est pas tout à fait comparable entre ces deux dates, ce doublement est à considérer comme un ordre de grandeur). En effet, Crozet *et al.* (2003) montrent que celui-ci, à savoir le consentement à payer, y est fixé à 240 000 francs en 1970, 1 million de francs en 1980, 1,6 million de francs en 1985, 3,2 millions de francs (rapport Boiteux I) en 1994, 1 million d'euros (6,56 millions de francs, rapport Boiteux II) en 2001. En 2020, le « coût du mort », évalué sur la base de la sophistication des méthodes contingentes (suite à la mission Quinet en 2011) et à la tentative d'harmonisation du mode de calcul conduite au sein de l'OCDE, est

[6] Crozet *et al.* (2003) évoquent ainsi que ce mode de calcul, essentiellement fondé sur le manque à gagner en termes de production, conduit à différencier le coût de la vie humaine selon le sexe (les hommes « valent » plus que les femmes pour la société), l'âge (les enfants et les personnes retraitées valent moins que les adultes en âge de travailler). Par ailleurs, le développement du chômage de masse facilite la possibilité de remplacer la personne décédée et réduit de fait la perte de production : le coût du mort serait ainsi moindre lors des crises économiques.

estimé à 3,331 millions d'euros en France⁷ et varie selon les pays (c'est-à-dire selon le consentement à payer propre à chaque société).

2] Nature et effets de l'évaluation

Il n'y a donc pas d'un côté les faits, objectifs, que l'on peut atteindre par le calcul et la raison, et de l'autre, le jugement subjectif reposant sur des valeurs extérieures non discutables, ni vraies ni fausses car ne pouvant être vérifiées empiriquement. Au demeurant, la défense d'un tel positionnement, à savoir que seuls les chiffres et l'évaluation quantitative sont à prendre en compte – ont de la valeur –, est déjà en elle-même un parti pris qui trahit les valeurs de la personne qui défend cette position. L'évaluation, qu'elle soit qualitative ou quantitative (quand elle repose sur des chiffres et des calculs), n'est ainsi jamais neutre. Elle incorpore implicitement ou explicitement des valeurs, supporte des choix éthiques et est médiatisée par des techniques. Par ailleurs, elle agit sur la réalité dont elle tente de rendre compte. Au-delà, on peut affirmer, en paraphrasant l'économiste Goodhart ou le sociologue Campbell⁸, que quand un indicateur devient un objectif, il cesse d'être un bon indicateur et il détériore généralement le processus qu'il est censé évaluer et supporter. Ces déviations montrent que le milieu peut être appauvri par l'évaluation. Développons et illustrons ces arguments.

Toute évaluation incorpore des valeurs et repose sur des techniques non neutres

L'ingénieur qui cherche à évaluer les performances du projet auquel il contribue est un être social qui possède des valeurs. Du fait de son appartenance à une communauté humaine, du fait de son histoire personnelle et ses expériences passées, il possède une

[7] Malgré des discussions, il n'a pas été retenu de différencier le « coût du mort » selon le secteur (transports, santé, environnement).

[8] « *When a measure becomes a target, it ceases to be a good measure* » (loi de Goodhart, ainsi formulée par Marilyn Strathern (1997) pour rendre hommage aux travaux de l'économiste du même nom (1975)) ; « *The more any quantitative social indicator is used for social decision-making, the more subject it will be to corruption pressures and the more apt it will be to distort and corrupt the social processes it is intended to monitor* » (loi de Campbell, 1979).

certaine vision du monde, laquelle nourrit des affects, des intuitions ou des préconceptions dans l'appréhension d'un fait, d'une situation. Alors que certains préconisent de surmonter cette subjectivité du sujet qui ne peut être un fondement sûr de la pensée et de la connaissance (Bachelard 1998), d'autres estiment que l'être humain est indivisible, que ses valeurs ne sont pas des réalités extérieures susceptibles d'être mises à distance mais qu'il peut les contrôler par un processus d'enquête (Dewey 1993) (**encadré 2** pour une discussion des concepts de valeurs, valuation et évaluation chez John Dewey).

Encadré 2. Valeurs, valuation, évaluation pour John Dewey

Pour le philosophe pragmatiste John Dewey, les valeurs ne sont pas des principes abstraits, extérieurs aux situations vécues. Au contraire, elles sont des qualités propres à des événements, des choses ou des personnes dans un contexte concret.

Les valeurs sont donc formées (et pas déjà là) dans un processus ancré dans l'expérience, que Dewey nomme «*valuation*». Elles émergent dans le cadre d'une appréciation immédiate (*de facto valuing*) d'un événement, d'une chose, d'une personne, en provoquant une émotion, un ressenti ou en stimulant l'imagination, et confèrent une qualité (positive ou négative) à cet événement/chose/personne. Bidet *et al.* (2011, p. 21) donnent, à la suite de Dewey (1938/1993), l'exemple du plaisir ressenti face à un tableau qui se traduit par l'appréciation immédiate «j'aime ce tableau». Mais celle-ci ne constitue qu'une étape dans la formation d'un jugement de valeur : celui-ci soumet ces appréciations immédiates à un processus d'enquête, dans le cadre d'une appréciation évaluative (évaluation) qui fait intervenir la raison, de façon à objectiver les valeurs. C'est à ce stade que, dans le cadre d'un processus réflexif, la situation est mise en relation avec d'autres situations, c'est-à-dire des événements, objets, personnes dans leur contexte respectif, et qu'est prise en compte la perspective des autres sur ces situations. Au terme de l'enquête, on pourra passer de la subjectivité et de l'arbitraire contenus dans la proposition «j'aime ce tableau» à «ce tableau est beau» parce qu'on aura identifié des attributs de ce tableau renvoyant à d'autres situations qui ont conduit au même type de comportement et qui permettent ainsi une certaine généralisation de l'appréciation. L'enquête n'est pas une simple introspection (un processus interne de maîtrise de sa subjectivité par l'individu) mais est de nature sociale au sens où elle s'inscrit dans la matrice culturelle d'un groupe – les critères de la beauté

d'un tableau varient ainsi selon le groupe, inséré dans un contexte spatio-temporel – et nécessite l'intersubjectivité (Renault 2012) ou plutôt l'inter-objectivation (Zask 2004), c'est-à-dire le regard des autres. La valuation couvre donc l'ensemble du processus appréciatif (immédiat et réflexif), unissant émotion, imagination et jugement critique et permettra de faire émerger des « propositions-de-valeur », dont l'objectivité ne tient pas au fait qu'elles deviennent des vérités absolues mais des croyances partagées, provisoirement stabilisées. Cela signifie que les valeurs peuvent être débattues et révisées.

Pour aller plus loin : Bidet A., Quéré L. & Truc G. (2011), « Ce à quoi nous tenons. Dewey et la formation des valeurs », « Introduction à John Dewey », in *La formation des valeurs*, La Découverte, rééd. 2021, p. 5-64; Dewey J. (1993), *Logique. Théorie de l'enquête* [1938], PUF; Renault M. (2012), « Note critique. Dire ce à quoi nous tenons et en prendre soin : John Dewey, *La formation des valeurs*, Paris, La Découverte, 2011, 238 p. », *Revue française de socio-économie* 9, p. 247-253; Zask J. (2004), « L'enquête sociale comme inter-objectivation », in Karsenti B. & Quéré L. (dir.), *La croyance et l'enquête. Aux sources du pragmatisme*, EHESS, p. 141-163; Zask J. (2015), *Introduction à John Dewey*, La Découverte.

Par ailleurs, les démarches et outils que les ingénieurs mobilisent pour cette évaluation ne sont pas donnés mais construits. Ces techniques agissent comme un filtre de la réalité. Le modèle⁹ est à ce titre emblématique. Le modèle est pour Guitton (1963, p. 268) une construction simplifiée destinée à expliquer la réalité et/ou – on pourrait ajouter – à agir sur elle : « Un modèle sera toujours et par essence partiel, incomplet ; il n'aura pas plus de valeur que les suppositions sur lesquelles il repose¹⁰. »

[9] Un modèle ne se réduit pas à son expression mathématique, une représentation graphique étant un modèle à part entière par exemple.

[10] La modélisation ne se réduit pas à la modélisation mathématique. Lorsque l'on représente graphiquement un phénomène ou même lorsqu'on met en œuvre une démarche qualitative, on développe plus ou moins explicitement une représentation du phénomène à expliquer avec un certain objectif (qui peut être la compréhension ou l'action). C'est la qualité du modèle ou plus précisément les hypothèses qui président à cette modélisation qui sont importantes et non la forme (mathématique ou non) du modèle. Ces hypothèses rendent compte de ce que l'on retient et ce que l'on omet par rapport à la réalité de référence et donc agissent comme un filtre.

Ainsi par exemple, quand l'ingénieur cherche à évaluer l'intérêt de l'introduction de technologies énergétiques renouvelables en remplacement des technologies fossiles afin d'atteindre les objectifs climatiques consignés notamment dans l'accord de Paris (2015), il s'appuiera sur des scénarios énergétiques, qui correspondent à des modèles de la transition énergétique. Pourtant les hypothèses sur lesquelles reposent ces scénarios (et donc leur intérêt) sont régulièrement discutées comme François & Gorreri (2021) le font pour les scénarios RTE¹¹ publiés en octobre 2021. Plus généralement, Debizet & Labranche (2019) montrent que les scénarios les plus populaires sont fondés sur des hypothèses qui réduisent la transition énergétique à des choix techniques ou encore économiques (en jouant sur les prix et les incitations pour modifier les comportements) – limitant de fait le contenu des débats publics à ces dimensions – et laissant dans l'ombre d'autres enjeux pourtant importants comme les jeux d'acteurs (avec par exemple l'émergence de nouvelles catégories d'acteurs telles que les communautés énergétiques) et l'organisation spatiale des nouveaux systèmes énergétiques (avec la multiplication de dispositifs décentralisés de production d'énergie). Angles morts du débat public sur la transition énergétique, ces évolutions peuvent cependant influencer les dimensions techniques et économiques elles-mêmes, en affectant par exemple la stabilité des réseaux et le marché de l'électricité (Fonteneau 2021).

Lund *et al.* (2017) défendent également l'idée selon laquelle les modèles d'optimisation, qui visent à déterminer la solution optimale en matière de conception des systèmes énergétiques, posent un problème démocratique : la solution étant donnée par le modèle, cela réduit le rôle politique des acteurs publics à celui d'administrateur ; Lund *et al.* (2017) lui opposent la simulation qui produit plusieurs scénarios proposés à la délibération politique. On pourrait ajouter que les hypothèses retenues par les scénarios énergétiques s'enracinent dans l'observation des dispositifs et des tendances socio-économiques actuelles (qu'elles prolongent en supposant une évolution linéaire), restreignant l'imaginaire technique et non technique au système

[11] RTE (Réseau de transport d'électricité) est une société anonyme filiale d'EDF (100 %). Elle est gestionnaire de réseau de transport français d'électricité, et réalise également des activités de prospective pour l'avenir.

énergétique actuel. Par exemple, les hypothèses retenues pour évaluer la consommation énergétique des différents secteurs et des ménages sont fondées sur les valeurs observées précédemment, l'intervalle de variation d'un nombre réduit de ces variables permettant de discriminer entre différents scénarios¹². Autre exemple, la production et la distribution centralisées de l'énergie, de même que la séparation entre production et consommation, sont des caractéristiques des systèmes énergétiques rarement remises en cause alors que les technologies énergétiques renouvelables permettent la décentralisation de la production et l'autoconsommation d'énergie (Amand *et al.* 2020).

L'évaluation transforme le milieu

Non seulement les démarches et outils utilisés peuvent conduire à une représentation de la situation plus ou moins biaisée, mais ils influencent les décisions prises, en simplifiant (parfois à l'extrême) une réalité complexe. De plus, modèles et indicateurs sont des techniques qui transforment le monde, comme le défend la thèse de la constitutivité (cf. chapitre 6).

Plusieurs études se sont ainsi intéressées à l'effet des classements sur les stratégies des acteurs : c'est le cas en particulier de l'étude de Pollock et D'Adderio (2012) qui montre l'impact du dispositif « Magic Quadrant » conçu par l'entreprise Gartner pour classer les acteurs du domaine des technologies de l'information et de la communication dans une matrice à quatre segments (*niche player, challenger, visionary and leader*) : non seulement ceux-ci modifient leur stratégie marketing et de développement de produits en conséquence, mais l'effet du classement sur le milieu est si puissant qu'ils essaient de l'influencer à leur avantage. Au-delà, ce sont les évaluateurs (*rankers*) qui font le marché, en décidant quel acteur y est classé en fonction de critères qui n'ont rien à voir avec la réalité du marché mais qui tiennent aux qualités esthétiques et de communication du classement (qui doit inclure suffisamment d'acteurs pour que le classement ait

[12] Ainsi, on définit un scénario de référence (souvent tendanciel ou qui correspond à des décisions publiques déjà mises en œuvre, comme la stratégie nationale bas carbone de la France, adoptée en 2020) et les scénarios prospectifs et les variantes sont définis de manière différentielle par rapport à ce scénario initial. C'est le cas par exemple des scénarios « Futurs énergétiques 2050 » de RTE publiés en octobre 2021.

du sens et soit valorisé par la profession, mais pas trop pour que cela ne devienne pas illisible, peu opérationnel et donc écarté par les acteurs, privant Gartner de sa source de revenus).

Autre exemple : si l'on revient au cas des scénarios énergétiques, l'enjeu est de taille puisque les choix et les investissements publics que ces scénarios vont contribuer à guider engageront les pays pour des décennies. Or, comme le notent François & Gorreri (2021) s'agissant de l'évaluation par RTE des scénarios énergétiques, il paraît étrange de confier l'étude de la stratégie énergétique de la France « au transporteur d'électrons » qu'est RTE, étant donné qu'il y a un « soupçon [d']allégeance de RTE à son actionnaire majoritaire EDF ». Aucune vision (et les valeurs qui la sous-tendent) n'est à rejeter d'emblée mais chacune d'elles mériterait d'être rendue explicite.

Agissant sur le monde et influençant l'action, l'indicateur peut même aller à l'encontre de l'objectif apparemment poursuivi par l'action que l'on cherche à évaluer. Plusieurs études (notamment Perrin 2002) ont ainsi montré que les indicateurs de performance associés au processus d'innovation, souvent conçus dans le but de mesurer le succès commercial du résultat, encouragent le maintien du *statu quo* ou l'innovation incrémentale, et découragent la prise de risque.

Les indicateurs peuvent même aggraver le problème que l'on cherche à résoudre. Ainsi en est-il de « l'effet cobra » faisant référence à une malheureuse expérience de l'Inde à l'époque coloniale. Pour se débarrasser des cobras dont Delhi était infestée à cette époque, les autorités avaient décidé de mesurer le nombre de cobras éliminés et en guise d'incitation ont rémunéré les chasseurs de cobras. Cela a surtout motivé des chasseurs de primes à élever des cobras pour pouvoir les éliminer... et toucher la prime. Quand les autorités ont découvert le détournement du dispositif et ont supprimé la prime, les cobras ont été relâchés dans la nature, de sorte que leur nombre a augmenté par rapport à la situation antérieure. Lors du déploiement d'indicateurs, il est donc conseillé d'anticiper l'effet cobra éventuel de cette démarche.

**L'évaluation poursuit parfois des objectifs cachés,
elle détourne des ressources et peut appauvrir le milieu**

Non seulement l'évaluation influence l'action mais elle peut aussi poursuivre des finalités multiples, souvent implicites et parfois anti-

nomiques. L'évaluation peut notamment être un outil de contrôle des individus et pas seulement de la performance du projet. Ainsi par exemple, le dépôt d'un brevet peut mesurer la performance d'une activité de conception mais il peut également évaluer la performance des ingénieurs du projet. Le risque est grand que l'activité innovante se réduise alors à un dépôt de brevets (surtout quand ce dépôt fait l'objet d'une reconnaissance financière): dès lors, sera évaluée la capacité des membres du projet à déposer des brevets et non le degré innovant du projet. Et en effet, des études scientifiques révèlent que le lien entre brevets et innovation est ambigu (Le Bas & Pénin 2015).

Dans la même veine, des indicateurs clés de performance (KPI) sont souvent proposés pour évaluer la progression d'une organisation (comme une équipe projet) dans l'atteinte de ses objectifs et visent implicitement à motiver (à contrôler?) les collaborateurs. Ils sont fondés, par exemple en informatique, sur le nombre de lignes de code rédigées, ou en mécanique sur le nombre d'étapes dans l'arbre de construction d'un modèle CAO, avec un effet ambigu sur la performance du projet qui n'est pas systématiquement corrélée avec la quantité apparente de travail fournie. Dans ce cas de détournement de la finalité de l'évaluation (ici obtenir le plus possible de brevets/lignes de codes/étapes dans l'arbre de construction du modèle CAO), on restreint la finalité de l'activité et on valorise une des compétences des individus qui y participent au détriment des autres qui progressivement vont disparaître (et qui pourraient être importantes dans le processus de conception, comme la prise de risque).

Une autre dérive peut être que l'évaluation prenne une place trop importante au détriment du projet lui-même et dans ce cas, le temps et l'énergie de l'équipe et plus généralement les ressources humaines et financières du projet sont en partie consacrées à la mesure d'indicateurs favorables (ou au maquillage des mauvais résultats). Ces exemples montrent que l'évaluation peut participer à l'appauvrissement du milieu, quand elle sélectionne certaines pratiques ou compétences des individus ou des équipes tout en participant à l'affaiblissement d'autres, ou bien quand elle détourne les ressources au détriment du projet ou du processus qu'elle est censée servir (cf. **chapitre 13**).

3] Ne pas abandonner l'évaluation dans les projets de conception, mais ne pas la fétichiser et veiller à l'enrichir en permanence

Puisque l'évaluation repose sur des valeurs et des techniques non neutres, qu'elle peut même être contre-productive et détourner les ressources, doit-on dès lors se passer de toute évaluation ?

Pour paraphraser Vatin (2008) lorsqu'il évoquait que l'ingénieur préférerait l'imprécision de sa mesure à l'absence de mesure, nous soutenons que même imparfaite, l'évaluation constitue une boussole indispensable de l'action et du projet de conception. Mais à plusieurs conditions.

En tant qu'êtres humains vivant en société, les parties prenantes d'un projet de conception forment des valeurs qu'il est nécessaire d'explicitier par un processus de valuation (Dewey 1938). Celui-ci, tout en s'appuyant sur l'appréciation immédiate et émotionnelle de chacun vis-à-vis du projet, permet par l'enquête (publique et critique) de générer un jugement intellectuel qui objective les valeurs. En effet, cela clarifiera le cadre de référence du projet de conception à la fois pour les membres du projet (qui pourront en avoir eu une appréciation immédiate différente) et pour les destinataires du produit/service qui en résultera. Ainsi, par exemple, si l'enquête révèle que l'objectif principal du projet est de mettre sur le marché le produit le moins cher possible pour faire face à la concurrence et/ou permettre aux consommateurs les moins fortunés d'y accéder, la valeur sous-jacente est d'ordre économique, ce qui minorera notamment les préoccupations sociales (juste rémunération et conditions de travail décentes des travailleurs) ou environnementales (empreinte environnementale réduite du produit tout au long de son cycle de vie) dans la conception. Encore faudrait-il préciser le bénéficiaire du gain économique. Dans le cas d'un tee-shirt à quelques euros, cela représentera un intérêt pour l'entreprise qui pourra vendre davantage de pièces. Mais, outre les impasses sur les dimensions sociales et environnementales de la production (qui pourront se traduire par des pertes économiques pour certains), la qualité sera vraisemblablement médiocre, ce qui obligera le consommateur à acheter plus souvent des tee-shirts (avec dans la durée, une économie toute relative le concernant mais son budget actuel ne lui permet peut-être pas de faire autrement).

Au-delà de l'objectivation des valeurs du projet, l'évaluation doit révéler ses propres valeurs, notamment lorsqu'elle est utilisée comme outil de contrôle social des individus qui participent au processus de conception. En effet, un même système d'évaluation peut difficilement servir en même temps à apprécier le processus de conception lui-même (notamment l'atteinte de ses objectifs) et la performance des individus qui y prennent part. Enfin, si l'évaluation devient elle-même l'objectif (par exemple, comme outil marketing afin de promouvoir la capacité de l'entreprise à innover), il s'agit d'apprécier les modalités de l'évaluation pour ce faire à l'aune des ressources (humaines et financières) mobilisées.

Enfin, définir un dispositif d'évaluation (ce que l'on mesure, pourquoi on le mesure, comment on le fait) peut être un outil de négociation des valeurs de la conception. Si elle mobilise les différentes parties prenantes du milieu, la négociation peut ainsi transformer les valeurs en normes de l'action collective de conception.

Dès lors, une première recommandation peut être la suivante :

Objective les valeurs du projet de conception et de son dispositif d'évaluation, et fais de l'évaluation un outil de négociation sur les valeurs.

Quand le sens commun parle du « succès » des innovations, il pointe généralement la réussite commerciale d'un produit et/ou service qui résulte du processus de conception. Mais des chercheurs ont montré que ce succès est généralement précédé de nombreux échecs qui doivent être valorisés (évalués positivement) notamment parce qu'ils permettent d'apprendre par l'expérience : le processus d'essai-erreur est essentiel dans le processus de conception (Perrin 2002 pour une synthèse de ces recherches).

L'évaluation doit donc être conçue comme une démarche imbriquée portant sur plusieurs tentatives et même en cas « d'échec » supposé et révélé par l'évaluation initiale, il est indispensable d'en analyser les raisons et d'en tirer les leçons pour poursuivre la conception. Perrin (2002) considère que les « échecs » et les « succès » constituent ainsi les deux extrémités d'un continuum multidimensionnel d'évaluation du processus d'innovation. Ainsi, dans le cadre du projet de recherche RESponSE visant à équiper les sapeurs-pompiers de capteurs, dont une partie était destinée à mieux accompagner le risque d'accidents cardiaques pour lesquels les pompiers présentent

une prévalence élevée¹³, l'évaluation du succès ou de l'échec du dispositif pourrait se discuter : cette solution technique n'a dans tous les cas pas fait l'objet de la part des destinataires d'une appréciation positive immédiate. En effet, le dispositif tel qu'initialement pensé a été d'abord plutôt mal accueilli par les pompiers, ceux-ci y voyant un accroissement du risque de se voir refuser la délivrance de leur aptitude de la part du service médical, ce qui atteint un point très sensible de leur engagement. D'autre part, un certain décalage technologique a pu être moqué au regard de leurs équipements parfois défectueux, ce qui ne montrait pas là non plus une forte adhésion au dispositif proposé¹⁴. Les divergences de valeurs auraient pu mettre le projet en échec ; le fait d'avoir pu entendre ces éléments, d'avoir objectivé les valeurs des parties prenantes du milieu d'insertion du nouveau dispositif a cependant permis au collectif de recherche de l'adapter pour réussir à innover avec le milieu : les capteurs ont ainsi pu donner une alerte sur les paramètres cardiaques sans déposséder le pompier de ses propres informations médicales (le pompier devant rester maître de leur transmission au médecin référent), et ils doivent être intégrés sans compliquer une tenue déjà contraignante à gérer et enfiler lors des départs en intervention (Rey, Simoncini & Triclot 2021).

Deuxième recommandation :

Relativise les « succès », valorise les « échecs » comme de potentiels révélateurs de conflits de valeurs dans le projet de conception, que l'évaluation doit objectiver.

Étant donné la complexité du processus de conception, qui par définition est imprédictible (on ne peut fixer un résultat à atteindre a priori) et du fait des valeurs propres au milieu de conception, le dispositif d'évaluation ne doit pas être extérieur au milieu (kit d'indicateurs prêt-à-utiliser) mais doit être conçu par et pour le milieu. Il doit multiplier les angles de vue, indicateurs quantitatifs et appréciations qualitatives, à des échelles temporelles variées (court,

[13] Projet INTERREG France-Suisse (2016-2019) associant le Service Départemental d'Incendie et de Secours du Doubs-SDIS25, des laboratoires de recherche (FEMTO-ST, C3S, ESPLAB) et des entreprises (Frec | n | sys, Kizy Tracking).

[14] En entretien, il a ainsi pu être exprimé qu'un micro-casque qui fonctionne serait déjà apprécié, avant même de penser à des capteurs corporels.

moyen et long terme). Du fait même de ce caractère indéterminé, l'objectif doit lui-même être redéfini de période en période en même temps que les dispositifs pour évaluer le processus censé y conduire.

C'est ce que montre l'expérience d'une équipe qui a participé à la première édition du Cybathlon 2016 FES-bike discipline à Zürich, challenge sportif pour concurrents handicapés autorisés à utiliser des technologies d'assistance bionique (Sijobert *et al.* 2017). L'équipe de chercheurs et de soignants ont préparé un patient paraplégique à une course de vélo en utilisant un tricycle du commerce qu'ils ont adapté en y associant un dispositif de neurostimulation. L'objectif initial était de participer et de gagner la course, comme preuve de l'intérêt du dispositif pour des personnes handicapées au quotidien.

En cours de développement, les objectifs techniques ont dû être adaptés aux circonstances (impossibilité de moduler les paramètres de stimulation en temps réel, par exemple). Au-delà des performances techniques, les effets physiologiques et psychologiques ont été évalués et l'expérience s'est révélée encapacitante pour la personne paraplégique (amélioration de sa qualité de vie et de l'estime de soi dans le cadre de l'entraînement). Pourtant, malgré une sélection pour la finale et le classement de l'équipe à la sixième place parmi les finalistes, ainsi que ces résultats qualitatifs positifs en termes psychologiques, le patient n'a pas souhaité poursuivre l'expérience au-delà de la période close le jour de la course (une année) car il a jugé le dispositif et les conditions d'utilisation trop contraignantes. Enfin, pour l'équipe de chercheurs, même si le coût du développement a été raisonnable, sa commercialisation est compromise du fait des normes qui conduiraient à multiplier par 50 ce coût, ce qui réduit l'accessibilité de la technologie. Réussite immédiate révélée par l'évaluation, doit-on en conclure que cette expérience de conception est un échec à moyen et long terme ?

Troisième recommandation :

Conçois un dispositif d'évaluation ad hoc quantitatif et qualitatif, veille à le faire évoluer en même temps que les objectifs du projet de conception et évalue dans la durée.

4] Conclusion

Après avoir fait le deuil de la perfection de la mesure, l'ingénieur doit également renoncer à faire de l'évaluation un rempart contre

les valeurs. Les valeurs ne deviennent d'ailleurs un problème dans un projet de conception et son évaluation que lorsqu'elles sont occultées. L'objectif ne s'oppose alors pas au subjectif, mais l'objectivité correspond à la subjectivité soumise à l'enquête.

Il est ainsi recommandé que tout projet de conception incorpore un processus de valuation pour objectiver et donc former la proposition de valeur(s) du projet de conception qui, si elle fait l'objet d'un compromis entre parties prenantes, peut guider la conduite du collectif d'acteurs de la conception. Cette valuation doit s'étendre au dispositif d'évaluation lui-même, qui comme toute technique, n'est pas neutre. Pour le dire autrement, dans tout projet de conception technique, la conception et la valuation doivent se situer à un double niveau : au niveau de l'objet et/ou service visé et au niveau de la technique d'évaluation du process de conception. On pourrait également suggérer d'étendre la valuation à toute technique mobilisée pour soutenir la conception.

Pour aller plus loin

HENNEGUELLE Anaïs & JATTEAU Arthur (2021), *Sociologie de la quantification*, La Découverte.

Dans ce petit manuel explicatif, Henneguella et Jatteau montrent que les chiffres sont utilisés pour décrire les faits sociaux ou économiques, mais aussi pour piloter l'action publique ou manager. En revenant sur l'histoire de la quantification et en décrivant diverses applications de celle-ci, les auteurs montrent finalement que les chiffres construisent et transforment la réalité socio-économique au moins autant qu'ils prétendent la mesurer.

VATIN François (dir.) (2009), *Évaluer et valoriser. Une sociologie économique de la mesure*, Presses universitaires du Mirail, rééd. 2021.

Cet ouvrage collectif interroge la production de valeur, de ce qui est considéré comme «valant quelque chose» tant socialement qu'individuellement. S'il prend en considération la valeur économique, elle n'est pas considérée comme première ni unique ici. L'ouvrage comprend trois parties, qui traitent respectivement : de la manière dont les normes prennent forme dans l'action des acteurs (des ingénieurs aux gestionnaires) ; la deuxième partie s'attache à comprendre comment le travail (et l'absence de travail) est devenu mesuré par divers dispositifs ; la troisième partie décrit finalement le lien entre les qualités d'un produit et la mesure de sa valeur. Cet ouvrage offre ainsi une plongée dans

la mesure, comment elle est devenue omniprésente, comment elle se construit, comment elle se mesure.

VARENNE Franck (2012), *Théorie, réalité, modèle. Épistémologie des théories et des modèles face au réalisme dans les sciences*, Éditions Matériologiques.

Dans cet ouvrage, l'auteur interroge la capacité des sciences (physiques ou empiriques) à rendre compte du réel à travers des théories et des modèles. La deuxième partie de l'ouvrage sur les modèles propose une analyse à la fois historique et épistémologique sur le modèle et son statut dans les sciences. Une discussion intéressante est notamment proposée sur les relations entre théories, modèles et réalité. L'auteur termine son ouvrage par la présentation de la thèse de Ian Hacking qui montre que ces relations sont complexes si l'on considère que la réalité n'est pas extérieure mais anthropologiquement construite, récusant ainsi l'idée que la théorie peut approcher progressivement le réel et donnant aux modèles un rôle de médiation avec une réalité dès l'origine constituée par les humains.

Bibliographie

- AMAYA JORGE L., CABARET Katy, PICARD Fabienne, REYES-CARILLO Tatiana, RODET-KROICHVILI Nathalie, TROUSSIER Nadège (2014), "Coupling Business Models with Life Cycle Assessment for 2nd Life Applications: Advantages and Limitations", [avniR] Conference (Life Cycle in Practice), Lille, 5-6 novembre. <http://avnir.org/documentation/presentation/cabaret.pdf>
- AMAND Rudy, DOBRÉ Michelle, LAPOSTOLLE Dany, LEMARCHAND F., NGOUNOU TAKAM E. (2020), « Faire de la recherche collaborative : quelle sociologie dans le cadre d'un *living lab* ? », *SociologieS. La recherche en actes*, mis en ligne le 13 octobre 2020 (<http://journals.openedition.org/sociologies/15342>).
- BACHELARD Gaston (1998), *La Formation de l'esprit scientifique* [1938], Vrin.
- BLAISE Frédéric & DE REFFYE Philippe (1994), « Simulation de la croissance des arbres et influence du milieu: le logiciel AMAPpara », 2nd African Conference on Research, Computer Science (CARI94), actes, p. 61-75. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/40855.pdf
- CAMPBELL Donald T (1979), "Assessing the impact of planned social change", *Evaluation and Program Planning* 2(1), p. 67-90.
- CROZET Yves, BAGARD Vincent & CHEVASSON Guillaume (2003), « Valeur de la vie humaine et sécurité routière : de l'incubation à l'émergence de nouvelles préférences collectives », *Transports* 422, p. 359-367.

- DAGIRAL Éric, LICOPPE Christian, MARTIN Olivier & PHARABOD Anne-Sylvie (2019), «Le *Quantified Self* en question(s): Un état des lieux des travaux de sciences sociales consacrés à l'automesure des individus», *Réseaux* 2019/4 (n° 216), p. 17-54.
- DEBIZET Gilles & LA BRANCHE Stéphane (2019), «Approche critique des scénarios technico-économiques de la transition énergétique», in Baggioni V., Burger C., Cacciari J. & Mangold M. (dir.), *Repenser la transition énergétique. Un défi pour les sciences humaines et sociales*, Presse universitaire de Rennes, p. 111-126.
- DESROZIÈRES Alain (2008), *Pour une sociologie historique de la quantification. L'argument statistique I*, Presse des Mines.
- DEWEY John (1993), *Logique. La théorie de l'enquête* [1938], PUF.
- FONTENAU Thibaut (2021), «Autoconsommation collective ou solidarité nationale? L'adaptation controversée de la tarification du réseau d'électricité pour les autoconsommateurs», *Flux* 2021/4 (n° 126), p. 52-70.
- FRANCOIS Philippe & GORRERI Sandrine (2021), «Transition énergétique: un rapport RTE aux hypothèses contestables», Fondation Ifrap, 27 octobre, ifrap.org/emploi-et-politiques-sociales/transition-energetique-un-rapport-rte-aux-hypotheses-contestables
- FREIDBERG Susanne (2013), "Calculating sustainability in supply chain capitalism", *Economy and Society* 42(4), p. 571-596.
- GUITTON Henri (1963), «Marché parfait et analyse d'activité», *L'Actualité économique* 39(2).
- HENNEGUELLE Anaïs & JATTEAU Arthur (2021), *Sociologie de la quantification*, La Découverte.
- LE BAS Christian & PÉNIN Julien (2015), «Brevet et innovation: comment restaurer l'efficacité dynamique des brevets?», *Revue d'économie industrielle* 151, p. 127-160.
- LE MOËNNE Christian & PARRINI-ALEMANNI Sylvie (2010), «Management de l'évaluation et communication», *Communication et organisation* 38.
- LEROY Michel (2002), «La mesure au sol de la température et des précipitations», *La Météorologie* 39, p. 52-56.
- LUND Henrik, ARLER Finn, ØSTERGAARD Poul Alberg, HVELPLUND Frede, CONNOLLY David, VAD Mathiesen Brian, KARNØE Peter (2017), "Simulation versus Optimisation: Theoretical Positions in Energy System Modelling", *Energies* 10(7), p. 840.
- MARTIN Olivier (2020), *L'Empire des chiffres. Une sociologie de la quantification*, Armand Colin.
- PERRIN Burt (2002), "How to – and How Not to – Evaluate Innovation", *Evaluation* 8(1), p. 13-28.
- POLLOCK Neil & D'ADDERIO Luciana (2012), "Give Me a Two-by-Two Matrix and I Will Create the Market: The Socio-Materiality of Rankings", *Accounting, Organizations and Society* 37(8), p. 565-586.

- REY Bénédicte, SIMONCINI Nicolas & TRICLOT Mathieu (2021), «Les sciences humaines et sociales en recherche technologique: vers une démarche de conception fondée sur l'ethnographie», in Lamard P. & Lequin Y. (dir.), *Démocratie technique en travail*, Pôle éditorial de l'UTBM.
- ROBIN Vincent (2005), *Évaluation de la performance des systèmes de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits; prototype logiciel d'aide aux acteurs*, thèse de doctorat en sciences physiques et de l'ingénieur, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- SIJOBERT Benoît, FATTAL Charles, DAUBIGNEY Anne & AZEVEDO-COSTE Christine (2017), "Participation to the first Cybathlon: an overview of the FREEWHEELS team FES-cycling solution", *European Journal of Translational Myology* 27(4), p. 7120.
- STRATHERN Marilyn (1997), "Improving ratings': audit in the British University system", *European Review* 5(3), p. 305-321.
- VATIN François (2011), «Entretien avec François Vatin», *Sociologies pratiques* 22(1), p. 7-13.
- VATIN François (2008), «L'esprit d'ingénieur: pensée calculatoire et éthique économique», *Revue française de socio-économie* 1(1), p. 131-152.
- VINCK Dominique (2014), «Présentation Pratiques d'ingénierie, Les savoirs de l'action», *Revue d'anthropologie des connaissances* 8(2), p. 225-243.
- VIVÉS Claire (2019), «L'objectivité sous contrôle: analyse d'une évaluation randomisée de programmes d'accompagnement des demandeurs d'emploi», *Revue française de sociologie* 60(1), p. 71-92.

Des technologies zombies aux technologies vivantes

Michel J. F. Dubois & José Halloy

1] Penser la soutenabilité

Ce chapitre s'inscrit dans la continuité des analyses du **chapitre 4**, consacré aux sciences du système Terre et à la «condition de planéarité». Il apporte deux nouveautés : il nous fait passer des faits aux valeurs, et de l'espace au temps. Ces deux mouvements vont de pair. Les analyses du **chapitre 4** sont parties de la logique de décentrement, et donc d'extension spatiale, impliquée par la notion même de milieu. Il convenait d'élargir le regard des techniques vers leurs milieux, et *in fine*, cet élargissement nous conduisait à la planète entière, telle que les sciences du système Terre la décrivent, envisagée comme condition irréductible de toute technique. Une telle approche impose aussi une question chargée de valeurs, celle de la soutenabilité : si la planète est condition de toutes nos techniques, qu'est-ce que nos techniques font à cette condition même ? La soutenabilité s'exprime comme un problème de durée : soutenable pendant combien de temps ? Comment penser et estimer la durabilité d'une activité technique de production à l'échelle, temporelle et spatiale, de la biosphère ?

Nous invitons le lecteur à une expérience de pensée pour intégrer les limites globales planétaires telles qu'exposées au **chapitre 4** dans la durée. Cette expérience de pensée comporte une dimension «hyperbolique», pour reprendre le terme qui qualifiait la démarche du doute cartésien, c'est-à-dire qu'elle impose une condition de cohérence maximale. Nous nous demandons à quelles conditions nos techniques peuvent être compatibles avec les cycles fondamentaux

de la biosphère, afin d'assurer leur perpétuation à des échelles temporelles qui dépassent immensément la vie humaine individuelle, car les unités de temps humain diffèrent de celles de la biosphère. Cette expérience est très éloignée de la situation de conception ordinaire, engagée dans des négociations et compromis de court terme, sans considération des échelles temporelles aussi vastes. Le cartésien, à la recherche d'une vérité première qui résisterait au doute, choisit de se retirer du monde pour méditer et remettre à plat l'ensemble de l'édifice du savoir. De même, le concepteur doit faire cette expérience de mettre entre parenthèses la temporalité ordinaire pour remettre à plat les techniques. Cette expérience de pensée peut être transformatrice pour les situations de conception ordinaires et impose de nouvelles valeurs, particulièrement exigeantes, de soutenabilité des techniques.

Par cette expérience de pensée, nous distinguons, comme idée régulatrice pour la conception technologique, deux pôles opposés. Nous désignons ces deux pôles selon les termes, frappants, de *techniques vivantes* et *techniques zombies*¹. La technique vivante est celle qui s'intègre au monde vivant et participe à reproduire les cycles de la biosphère, comme s'y intégraient les humains durant l'histoire pré-industrielle et surtout avant la *grande accélération* qui caractérise l'après seconde Guerre mondiale (Steffen *et al.* 2015, encadré 1).

Encadré 1. La grande accélération (*The great acceleration*)

À partir de 1946, une accélération économique planétaire se met en place, tous les indicateurs de l'activité humaine mondiale, qu'il s'agisse de la population, du PIB, de la consommation d'énergie, de la construction de barrages, des transports, de l'industrie automobile, des investissements, des télécommunications, du tourisme international, de la production de ciment, de l'utilisation des engrais, de la production de papier, etc., connaissent au moins

[1] José Halloy a proposé publiquement les termes «technologie zombie» en juin 2019 lors d'un colloque de Cerisy sur «Les sciences humaines et sociales en recherche technologique» organisé par le GIS UTSH. Il a tenté d'explicitier le concept dans Halloy & Nova (2020). L'expression a été reprise Bonnet *et al.* (2021) et Parrique (2022), puis reprise par Dubois (2023).

jusqu'en 2018, une croissance exponentielle forte et continue. La population mondiale a triplé, mais le PIB mondial a sextuplé, la consommation d'énergie a plus que décuplé, etc. L'accélération se poursuit en 2023. Cette période unique dans l'histoire de l'humanité est appelée «la grande accélération».

À quoi ressemble une technique vivante ? L'agriculture fournit, historiquement, un bon exemple. Elle est sous condition de milieux dont elle doit prendre soin. On ne cultive pas le blé là où on cultive le riz, le vin de Bordeaux n'est pas celui de Bourgogne, les différentes races de bovins proviennent d'un terroir. Surtout, la terre ne peut pas produire davantage que la fertilité régénérée, ou conservée, du sol dans un climat donné, ne le permet. Le problème de la reproduction des conditions de l'activité technique s'y pose avec le maximum de clarté et les développements économiques européens du XI^e à la première moitié du XIV^e siècle le montrent clairement (Arnoux 2012, 2023).

À quoi ressemble une technique zombie ? Par contraste, la technique zombie est celle qui utilise des ressources de stocks ou de flux, qu'elles soient énergétiques ou minérales, à un rythme déconnecté de leur milieu, et non soutenable par rapport aux durées que le vivant a connues, par exemple quelques décennies, ou au maximum deux ou trois siècles, pour vider les stocks et dépecer les flux. On peut ainsi définir un seuil de consommation d'énergie ou de matière au-delà de laquelle les techniques qui les utilisent deviennent zombies, de fait.

Cette échelle temporelle implique que la technique vivante doit faire la preuve qu'elle ne dépasse pas de tels seuils, sur la longue durée. Nous choisissons ici, à l'évidence, une échelle de soutenabilité très forte, hyperbolique. Elle a l'avantage d'imposer, sans détour possibles, la question de la connexion de nos techniques aux cycles fondamentaux de la biosphère tels que décrits au **chapitre 4**. Face à cette exigence, les techniques zombies deviennent une aberration temporelle : elles exploitent, sur de courtes durées (quelques siècles), les ressources fossiles ou de stocks minéraux qui ont été constitués sur de très longues durées (des centaines de millions d'années) ; cette exploitation permet l'accès à de très hautes puissances. Elle autorise une déconnexion entre technique et milieu, sur une durée

correspondant à l'épuisement des stocks et à l'effondrement des flux, impensable pour nos techniques vivantes. Cette expérience de pensée nous oblige à réfléchir à une notion de soutenabilité forte, à long ou à très long terme, mais d'une manière différente de celle du «*long termism*» qui est à la mode chez les dirigeants de la Silicon valley (encadré 2). Elle introduit une forme de vertige : quelles techniques passent aujourd'hui la barre ? Disposons-nous de techniques à usage local qui soient capables de répondre aux besoins induits par des stocks d'énergies «fossilisées», en utilisant moins de ressources minérales, organiques, ou énergétiques ?

Encadré 2. La pensée du «*long termism*»

La question du long terme est à la mode. Elle donne son nom à la philosophie, en vogue chez les patrons de la Silicon Valley, qui se définit comme «*long termism*» (Snyder-Beattie 2019, Greaves & MacAskill 2019). L'argument central repose sur la nécessité éthique de se préoccuper des bénéfices et risques à long terme de nos actions actuelles, au motif que les vies futures ont autant de valeur que les nôtres. L'amélioration à long terme des conditions de l'humanité apparaît comme l'impératif moral prioritaire. Dans cette perspective, les auteurs identifient des «risques existentiels» s'appliquant à notre espèce, tels que le dépassement par l'intelligence artificielle, le développement de nouveaux pathogènes, ou des types d'accidents climatiques ou géologiques connus. Ces risques existentiels deviennent la priorité de l'action éthique. À l'inverse, comme le notent les critiques, les risques de changement climatique, de baisse de la biodiversité, le manque de ressources, et plus généralement les effets de la «grande accélération», sont relativisés.

Dans cette éthique des techniques, le bien s'identifie à la perspective de long terme de développement de l'humanité comme espèce multiplanétaire, capable de s'extraire de la biosphère. Ce type de long terme n'a rien à voir avec la perspective que nous développons ici d'opposition entre technologies zombies et technologies vivantes. Le long terme que nous promet le «long termisme» est radicalement zombie. Il ignore la condition planétaire, et cette autre longue durée qu'est l'histoire de la biosphère ; il passe allégrement par-dessus les milieux dans une perspective de scalabilité. Il ignore les questions de limites énergétiques et minérales. Il relègue les éthiques du soin et de

la maintenance, si importantes pour nous, au rang d'illusions consolatrices... pour, finalement, promouvoir un ensemble de techniques d'ores et déjà zombifiées.

Il est crucial de comprendre que cette séparation zombie – vivant ne délimite pas des catégories étanches. Zombie et vivant désignent des polarités dans un processus. N'importe quelle technique qui semble originellement vivante peut être zombifiée, par exemple en l'amplifiant avec une énergie issue de stocks finis venus des accumulations organiques sur des millions d'années. Ce qui est le cas de l'agriculture actuelle. On pourrait dire que dès que le milieu n'est pas reconnu et que le besoin de puissance est sans limite par rapport à l'énergie issue de l'irradiation solaire (cf. **chapitre 4**) sur le milieu considéré, la zombification se met en œuvre. Réciproquement, une technique manifestement zombie peut être vivifiée si elle s'amenuise, s'intègre, à l'échelle de son milieu. Mais dès qu'elle est multipliée à des échelles qui redévoilent une surpuissance, elle se rezombifie.

Analysons ces deux « pôles » du champ technique : la technique zombie qui n'a aucune chance de durer et qui, peut-être, sape les conditions d'existence du vivant et la technique vivante qui pourrait durer autant que le monde vivant lui-même. S'il s'agit désormais de concevoir pour les milieux, se pose en conséquence la question : « Comment peut-on revitaliser ce qui semble originellement zombie et comment a été zombifié ce qui était vivant ? »

2] Reconnaître les zombies

Le terme *zombie* correspond à un imaginaire déjà ancien. Selon la définition du Robert, le terme a connu trois définitions. La première est empruntée (1832) à un mot créole haïtien, lui-même issu d'une langue africaine. Celle-ci était probablement parlée au Dahomey (Bénin), région d'origine de groupes qui ont été réduits en esclavage en Haïti, dès le XVI^e siècle. Ces derniers ont produit, par mélange avec le christianisme et les cultures caraïbes, la culture vaudou. Dans la tradition vaudou, un sorcier pouvait soit réanimer partiellement un mort, lequel ne disposait pas de « son âme », soit empoisonner une victime dont le cœur ralentit au point de paraître morte. Peu après son enterrement, le sorcier procède à l'exhumation

du corps et réanime la personne. La victime reste ensuite sous l'emprise du sorcier jusqu'à ce que ce dernier meure².

Courant en créole et en français de Haïti, le mot est resté rare et exotique en français d'Europe jusqu'aux années 1950, où il se diffuse avec les travaux sur le vaudou haïtien. Il va connaître une modification à partir des récits fantastiques, avec la vogue des films de zombies dans le cinéma américain. *White Zombie* (Victor Halperin), le premier film à le représenter à l'écran, est sorti en 1932. Il s'inscrit encore dans le paysage haïtien et porte un discours colonial et raciste. C'est avec la série de films de Georges A. Romero, qui débute avec *La Nuit des morts vivants* en 1968, que le zombie acquiert de nouvelles significations. Il s'intègre à la culture populaire, porteur d'une vocation de critique sociale. Le zombie devient un cadavre animé qui se nourrit de la chair des vivants.

Sur cette base, le concept connaît une troisième transformation. Il décrit une personne vidée de sa substance, sans volonté, puis se réfère aux marionnettes, à l'automate, la poupée ou le pantin : bref tout objet doté de mouvements suggérant la vie, mais non vivant, au point que la zombification évoque la prolétarianisation (cf. chapitre 13). De là l'utilisation multiforme, aujourd'hui, du terme, en substantif ou en adjectif, pour suggérer une perte de « substance », ou une apparence de vie, laquelle finit par s'évanouir.

Ces trois sens se succèdent, sans faire disparaître le ou les précédents. Un zombie est un mort-vivant souvent nuisible aux humains vivants. Chacun de ces trois sens nourrit la métaphore des techniques zombies. Le premier sens reste lié à la violence coloniale. Le sorcier en créant un zombie exprime le déracinement et l'esclavage dans sa propre culture, de même que l'exploitation coloniale zombifie l'agriculture. Les esclaves sur les plantations sont taillables et corvéables à merci, sans limite. L'exploitant blanc dispose de centaines d'esclaves pour une production destinée à l'exportation. Pomeranz (2000) montre que la différence entre les trajectoires de développement chinoise et anglaise, au XVIII^e siècle, réside dans la capacité des Anglais à utiliser une nouvelle source d'énergie (le charbon) peu consommatrice de surfaces et à se fournir en produits

[2] Florida Museum of Natural History, flmnh.ufl.edu/caribarch/zombi.htm.

cultivés grâce à la colonisation. Pomeranz (2000) parle «d'hectares fantômes» traduisibles par «hectares zombifiés».

Le deuxième sens, celui du monstre de Romero, détache le zombie du contexte colonial pour le relocaliser dans le centre commercial : le zombie devient la créature de la consommation de masse, déconnectée de son milieu, scalable à l'infini. Il n'y a rien de comparable entre le centre commercial qui repose sur des chaînes d'approvisionnement, plus ou moins opaques, à l'échelle de la planète et le boulanger du village qui travaille avec le meunier de sa région pour nourrir les habitants. L'acheteur en centre commercial est sidéré par l'ampleur des propositions, il perd tout contact avec les acteurs de la production. Chez Romero lui-même, il devient zombie, au milieu de produits, eux-mêmes issus d'un mode de production zombifié. Nous retrouvons le troisième sens : le consumérisme est l'activité faussement vivante, qui se croit innovante, tournée vers l'avenir, alors qu'elle est travaillée par le vide, mise à disposition et exploitée par une activité dite de communication, qui s'appuie sur des fantasmes déconnectés de toute existence relationnelle.

3] Comment une ressource s'effondre

Les techniques zombies donnent l'impression d'être vivantes, par leur activité frénétique, mais sont minées de l'intérieur : des morts en sursis. Trois critères favorisent la zombification : l'utilisation de stocks finis qui imposent une limite temporelle à l'activité ; l'utilisation d'une puissance dépassant les capacités du milieu dans lequel s'insère cette technique ; la généralisation de ces caractéristiques à grande échelle.

Examinons d'abord le critère des stocks. Distinguons durabilité faible et durabilité forte. Si la durabilité est de l'ordre d'une vie humaine, environ cent ans, il s'agit d'une durabilité faible. L'exemple de la pêche au cabillaud dans l'Atlantique Nord autour de Terre-Neuve offre un bon modèle des illusions de soutenabilité qui conduisent à l'effondrement. La pêche au cabillaud (souvent confondu avec la morue, le produit découpé, séché ou transformé) a paru durable pendant plus de cent ans. Par rapport à la durée d'une vie professionnelle de pêcheur, cela paraissait durable. La pêche s'est industrialisée à partir des années 1950, atteignant un pic de 810 000 tonnes en 1968, suivie d'un effondrement rapide à 140 000 tonnes en 1978.

Le moratoire en 1992, suivi de restrictions à moins de 10 000 tonnes, s'est clos deux ans plus tard par un arrêt total de cette pêche industrialisée. Les bancs avaient disparu par surpêche. Cet exemple illustre la manière dont des flux peuvent être épuisés, avec une forme de cécité quant au processus en cours. Ce phénomène cognitif relève de ce qu'on appelle le syndrome des références glissantes ou perte de la mémoire intergénérationnelle (**encadré 3**). Il affecte l'évaluation de la durabilité des stocks et des flux. En l'occurrence, la diminution de la taille des cabillauds pêchés a été sous-estimée jusqu'à atteindre le niveau de l'effondrement.

**Encadré 3. Le syndrome des références glissantes,
ou *shifting baseline* ou *sliding baseline* (Pauly 1995, Dubois 2016, p. 35-38)**

On peut détruire une forêt en remplaçant chaque arbre abattu. Imaginons une forêt de 10 000 arbres d'une espèce homogène qui atteint sa hauteur maximale en cent ans, dont le propriétaire abat chaque année les cent plus grands et les remplace par des individus d'un an. Il lui faudra cent ans pour couper tous les arbres. Ses petits-enfants ou arrière-petits-enfants trouveront des arbres centenaires en nombre stable (une centaine).

L'exigence d'accroître la production conduit à abattre de plus en plus d'arbres, jusqu'à 200. Ces arbres sont remplacés par de jeunes pousses. Mais cinquante ans plus tard, quand ceux qui ont pris cette décision ont quitté les commandes de l'entreprise, ce sont les arbres plantés cinquante ans plus tôt qui seront abattus. Un ancien voudra peut-être faire remarquer que les arbres nouvellement abattus sont de plus en plus jeunes, mais personne n'y prendra garde. Les arbres de 50 ans deviennent la référence. La conclusion financière étant d'amortir les investissements récents, on passe à un abattage de 300 arbres. Trente-trois ans plus tard, il n'existe plus d'arbres dépassant 33 ans, ce qui oblige à abattre 400 arbres par an, sinon la production baisse, ce qui conduit à des arbres de 25 ans, âge et taille devenue la nouvelle norme...

Un tel phénomène de références glissantes est à l'œuvre dans la surexploitation et donc l'extinction des ressources de flux. Autre exemple, celui du peuple Guéret, situé sur l'ouest de la Côte d'Ivoire. Les gens pratiquaient depuis longtemps une culture rotative après brûlis d'une part de forêt. La collectivité, vivant sur une large surface de forêt qu'elle exploitait, revenait sur la même parcelle après une bonne trentaine d'années, temps durant lequel le sol s'était

reconstitué et les arbres avaient repris une belle taille. Récemment, la population s'accrût, les surfaces brûlées aussi. Vers 1970, le cycle de rotation ne dépassait pas les dix ans. Aussi, le sol n'avait pas le temps de se reconstituer, les rendements baissaient. Il fallut encore accroître les surfaces et basculer vers une agriculture intensive avec apport d'engrais.

Selon la même logique, au XIX^e siècle, la taille moyenne des cabillauds pêchés dépassait le mètre, les records atteignant deux mètres. Cent ans plus tard, les poissons pêchés étaient trois fois plus petits. Le moratoire en 1992 puis l'arrêt réglementé en 2003 ne montrent pas de reprise trente ans plus tard, les cabillauds se sont adaptés, ils se reproduisent plus petits et ne vivent plus en larges bancs. L'histoire de ces pêcheries nous montre que, pour chaque étude nouvelle, on prend les données récentes, déjà diminuées, comme référence.

Dans le prélèvement d'une ressource vivante qui se renouvelle, il suffit que la pression dépasse le renouvellement pour que l'âge moyen des individus de la population sur laquelle a lieu le prélèvement diminue constamment. C'est un processus de zombification. Une nouvelle génération de pêcheurs ou de scientifiques construit ses propres référents oublieux des souvenirs des anciens, effacés. Comme, dans le cas des poissons, leur « réponse » est de se reproduire plus jeune, sous la pression de sélection, retrouver la taille originelle devient impossible sur un temps court, ce qui permet aux pêcheurs de nier ce syndrome.

Supposer que la donnée présente est un référent, alors qu'elle est déjà le résultat d'un glissement, accentue le glissement. Ainsi en est-il de bon nombre de forêts, de l'avancée d'un désert, de la qualité des sols, de certaines rivières, des bancs de tortues ou de poissons du passé et de toutes les ressources renouvelables qui autrefois paraissaient surabondantes et sont aujourd'hui au bord de l'extinction. La lenteur d'une évolution négative, à notre échelle individuelle, la rend particulièrement dangereuse. Les scientifiques disposent désormais de données qui indiquent, de manière générale, le non-renouvellement des poissons presque partout dans le monde.

On voit que les problèmes de soutenabilité ne se limitent pas à des stocks finis : le système de pêche du Cabillaud à Terre-Neuve a été zombifié par surexploitation d'une ressource pourtant renouvelable. La pêche est une activité artisanale « vivante », qui date

d'au moins 70 000 ans. Dans le cas de Terre-Neuve, cela aurait pu durer sans fin, en tenant compte des capacités de reproduction des cabillauds, en s'interdisant de pêcher ces poissons en dessous d'une certaine taille, et en limitant la pêche à moins de 100 000 tonnes, c'est-à-dire en évitant les bateaux-usines. Une technique vivante, celle de la pêche artisanale sans exagération, à partir d'hameçon, se retrouve doublement zombifiée, l'intensité de la pêche étant supérieure au renouvellement des populations de poissons et les techniques de pêche consommant toujours plus de ressources. Un cas tristement particulier est celui de la rhytine de Steller, paisible dugong brouteur d'algues marines au goût succulent et de très grande taille, jusqu'à 11 tonnes. Découverte en 1741 par un naturaliste, Georges Steller, elle était déjà en recul après avoir été présente sur tout le pourtour du Pacifique nord. Mais cette découverte conduisit à une chasse intense, tant le lait, la viande et l'huile sont jugés excellents, détruisant totalement les populations existantes en seulement vingt-sept ans.

La technique zombie n'est donc pas spécifique des hautes technologies. Elle est d'abord zombie dans la mesure où son usage ne tient pas compte du renouvellement naturel du stock. C'est évidemment encore plus net si on puise dans une ressource de pur stock, non renouvelable, comme les énergies fossiles ou les matériaux aux stocks relativement faibles, épuisables en cent ans ou moins, selon l'intensité de leur extraction. Plus est courte la durée de vie d'un système technique surexploitant des ressources de stock ou de flux, plus on peut le considérer zombie. Plus la durée est longue, plus il se rapproche de la logique du vivant et nous pouvons le qualifier de vivant. Il convient lorsqu'on analyse une surexploitation ou une surconsommation, d'analyser à la fois rétrospectivement et en anticipation, la durée probable de l'usage d'une technique, ou d'un ensemble de techniques, à partir de l'analyse des ressources, qu'elles soient de stock ou de flux, biologiques, énergétiques ou matérielles, qui constituent les conditions de base de leur existence.

La durabilité forte introduit l'exigence de réfléchir sur nombreux siècles voire le millénaire. L'usage du charbon en croissance exponentielle entre le début de l'exploitation systématique (milieu du XVII^e siècle) et sa fin quasi programmable aujourd'hui, le laps de temps est de l'ordre de trois siècles et demi, sachant que plus de

deux siècles et demi se sont déjà passés. En effet les stocks d'énergie fossilisée sont considérables et issus d'un très long processus biologique et géologique (encadré 4), sauf le nucléaire (encadré 5) La ténacité, l'acharnement, voire la cécité humaine, ou son absence de réflexivité, peuvent reculer à l'extrême la fin, mais elle sera d'autant plus brutale qu'elle sera moins anticipée. Il ne faut pas sous-estimer les capacités d'acharnement des humains, dans des conditions socio-technico-historiques spécifiques, capables de défier les lois générales de la physique et de la biologie, jusqu'au bout de l'épuisement de toutes les ressources, le cabillaud de Terre-Neuve n'étant qu'un exemple parmi un nombre croissant.

**Encadré 4. Temps de formation des énergies fossiles
et vitesse de leur consommation**

La condensation de l'énergie solaire (flux de photons) sous forme de stocks en quantité importante concerne l'ensemble des énergies fossiles : les pétroles, bitumes, gaz, charbons et tourbes. C'est de l'énergie solaire transformée sur très longue durée, à bas niveau de puissance, par les cyanobactéries, les algues et les plantes durant les centaines de millions d'années antérieures. À basse puissance mais sur une échelle de temps très longue, des quantités importantes d'énergie ont pu être stockées.

La formation du pétrole est un processus qui s'échelonne sur des dizaines de millions d'années à partir du vivant souvent microscopique. Le commencement de ce processus est daté d'environ 350 millions d'années, mais cela dépend des régions du monde et de la situation du vivant durant ces époques anciennes. Il provient de la décomposition d'organismes marins (principalement de plancton, animal ou végétal) accumulés dans des bassins sédimentaires, au fond des océans, de très grands lacs, de deltas ou de lagunes. Dans un environnement sédimentaire pauvre en oxygène, la matière organique est partiellement préservée et se mélange à des matières minérales (particules d'argiles ou sables fins). Ces boues de sédimentation s'accumulent par couches successives, de quelques dizaines jusqu'à des centaines de mètres d'épaisseur et sont en même temps transformées par des bactéries anaérobies. Les mouvements géologiques produisent peu à peu des « pièges » dans lesquels s'accumulent les produits de cette transformation. Chaque processus est unique et conduit à un mélange d'hydrocarbures dépendant de l'histoire biologique et géologique de la zone où il s'est développé. Une simple

division entre les estimations des stocks totaux depuis l'origine par le nombre d'années durant lesquelles ces processus se sont formés suggère une fabrication des pétroles tous confondus sur la planète à moins d'un million de tonnes par an. Notre consommation annuelle est de l'ordre de 4 000 fois supérieure, ce qui entraîne, au rythme actuel, la fin du pétrole peu coûteux pour la fin du XXI^e siècle.

La formation des charbons, houilles, lignites est mieux datée. Le carbonifère est la période de l'ère primaire, de -359 à -299 millions d'années (durée 65 millions d'années), entre le dévonien et le permien. Elle n'a de possibilité de se poursuivre actuellement que dans les tourbières de l'hémisphère nord qui accumulent chaque année un peu de matières organiques non dégradées par les champignons ou les bactéries. Le renouvellement éventuel d'énergie fossile sous forme solide est donc devenu très limité, quasi nul.

Les stocks constitués par l'activité du vivant sur la très longue durée ne sont pas limités aux énergies dites fossiles. Des condensations à faible puissance, processus lents, dans la très longue durée (centaines de millions d'années) à partir des coquilles, squelettes et autres structures (coraux) basées sur le calcium, s'accumulent sous forme de calcaire (carbonate de calcium). Les différents calcaires sont exploités dans des carrières à ciel ouvert comme matériaux de construction, marbres, mais aussi pour la production de chaux et de ciment. Ils sont aussi utilisés dans de nombreux produits tels que le verre, la soude, le papier, les peintures, les enduits, les colles, les plastiques et les élastomères. Ces consommations croissent aussi à des rythmes exponentiels, le total des matériaux extraits et utilisés, hors énergies fossiles et biomasse, dépasse désormais 60 milliards de tonnes par an.

Le rapport entre puissance et échelle de temps est essentiel pour comprendre les processus vivants. Il reste qu'il y a encore des stocks en quantités considérables dans lesquelles les activités industrielles modernes puisent de manière accélérée, ce qui conduit à une durabilité/soutenabilité de plus en plus faible dont les durées d'utilisation sont aujourd'hui estimables. L'utilisation de ces stocks finis, par des technologies exigeant des niveaux de puissance pouvant dépasser mille fois la plus forte puissance du vivant, ne peut pas être durable.

Encadré 5. Le nucléaire, un cas particulier ?

Il existe une exception, partielle, en ce qui concerne les stocks d'énergie nucléaire, surtout de l'uranium. Ces stocks ne résultent pas de l'irradiance solaire et l'énergie est d'origine physique (fission des atomes) et non chimique (photosynthèse). L'évolution géologique a conduit des sites de concentration de cet élément. Il s'agit de stocks finis, quantitativement limités et quasi tous répertoriés, dont la constitution relève de l'histoire géologique globale terrestre, depuis l'origine de la planète, dépassant l'histoire du vivant, soit sur plusieurs milliards d'années, c'est-à-dire absolument non renouvelables.

Il convient là aussi de faire l'ACV complète de cette production. Depuis l'extraction (moins de 1 % dans les minerais), l'enrichissement nécessaire du combustible en uranium 235, tout le milieu à constituer pour la sécurisation des stocks et déchets, la fabrication des réacteurs et de l'ensemble du système, y compris les tours de refroidissement, modificatrice des flux d'eau nécessaire qui dépendent de l'irradiance solaire. Cette eau, comme pour un barrage hydroélectrique, dépend d'un bassin-versant. Au total, l'ensemble de l'installation pour utiliser l'énergie potentielle de la fission est consommatrice de l'irradiance solaire et donc de surfaces qu'il conviendrait d'estimer, même approximativement. Le nombre de sites d'installation est donc limité.

Les EPR, dont il existe trois en production actuellement, et autant en cours de construction, tout en étant, sur le papier, plus efficaces que les réacteurs classiques ont montré, de fait, que leur mise en place est très complexe. L'ACV de leur installation devrait être effectuée au moins approximativement pour connaître l'échelle de leur besoin réel en surface.

On peut cependant artificiellement accroître ce stock à partir des réacteurs nucléaires dits de régénération (neutrons rapides et refroidissement au sodium liquide, décrits sur le site du CEA), tel que fut le réacteur Superphénix de Creys-Malville. Ces réacteurs permettraient de boucler le cycle du combustible, à partir du plutonium et de l'uranium 238, considérés comme des déchets pour les générateurs de première génération et de multiplier par plus de cent les stocks disponibles, soit théoriquement 15 000 ans au rythme actuel de consommation, tout en consommant ce qui était considéré comme déchets dans les réacteurs de première génération. La France a aujourd'hui suffisamment de plutonium et d'uranium appauvri pour commencer à faire fonctionner pendant un temps

plus long un parc de réacteurs de quatrième génération. Mais, pour le moment, ces réacteurs n'existent pas. Il faudrait lancer une filière industrielle de ce type³, ce qui relève de temps relativement longs à l'échelle des temps politiques (vingt à trente ans au moins). La décision de base serait en cours, avec la création de start-ups par le CEA pour la mise en œuvre de petits réacteurs de ce type. Comment ils vont s'insérer dans le milieu et quelle sera l'ACV de leur installation reste à faire.

Néanmoins, ce n'est qu'une phase transitoire, car les stocks, quoique multipliés par cent ou davantage dans ce cas, restent finis, et si cette production se généralisait, les durées se raccourciraient d'autant plus que les puissances cumulées s'accroîtront et demanderont aussi des matériaux, spéciaux, et de l'eau en quantité suffisante en chaque lieu d'installation.

Rapportée au critère de la soutenabilité forte, la durabilité est probablement améliorée mais demande une évaluation complète. Quant au nucléaire de fusion, son avenir est si lointain, au mieux première moitié du XXI^e siècle, qu'il est préférable, même si la recherche se poursuit, de penser sans lui. De plus, il est peu probable que son développement ne demande pas des technologies complexes exigeantes en nombreux matériaux dont la zombéité sera élevée.

Les décisions politiques sur le nucléaire sont spectaculaires car liées à des situations techno-économiques et politiques très controversées construites sur l'espoir et l'angoisse ; de telles décisions ont existé aussi dans le charbon (fermetures des mines françaises, belges, anglaises, accroissement actuel des mines allemandes à ciel ouvert) et existent pour le fractionnement de la roche-mère (gaz et huiles de schistes) pour lesquels on sait déjà que les besoins en fer (mines, fabrication des conduits non recyclables etc.) et en eau sont considérables. On pourrait distinguer les stocks physiques détectés ou évalués avec les méthodes actuelles, les stocks réellement accessibles avec les technologies actuelles, les stocks exploitables selon les analyses économiques du moment, les stocks jugés utilisables politiquement. Mais cela ne change pas le raisonnement de notre expérience de pensée ; tous ces stocks sont finis et leur

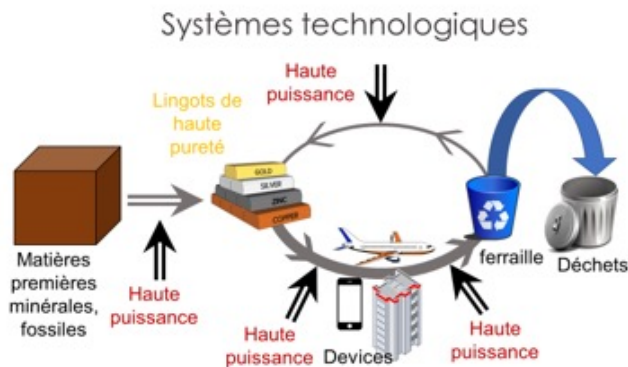
[3] [https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/nucleaire/essentiel-sur-reacteurs-nucleaires-du-futur.aspx#:~:text=Qu'est %2Dce %20qu',\(2%20km%2Fs\).](https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/nucleaire/essentiel-sur-reacteurs-nucleaires-du-futur.aspx#:~:text=Qu'est%20ce%20qu',(2%20km%2Fs).)

accès demande à la fois des quantités importantes d'énergies fossiles et des matériaux divers en grande quantité; la zombéité sera importante.

4] Techniques modernes et anomalies de la puissance

Outre le problème des stocks, le caractère insoutenable, ou non durable, sur la longue durée du système technique actuel tient à un autre critère: celui de la puissance. Les deux sont intimement liés: plus les stocks de matière se raréfient, plus il faut faire avec des gisements moins concentrés, et donc avec des coûts énergétiques croissants. Du temps des Romains, les minerais de cuivre contenaient plus de 5 % du précieux métal. Aujourd'hui, on a moins de 1 % mais on en consomme mille fois plus. Car symétriquement, le fonctionnement actuel de la technosphère requiert des niveaux de puissance considérables, lesquels reposent sur l'usage des combustibles fossiles à haute densité énergétique (20 à 50 MJ/kg). Les niveaux élevés de puissance sont obtenus grâce à l'usage des énergies fossiles à très grande échelle et à l'emploi de matériaux dont les niveaux d'extraction/consommation requièrent aussi des machines disposant de niveaux de puissance à des échelles comparables. La taille et la puissance des machines utilisées pour les mines à ciel ouvert actuelles dépassent l'imagination. Ce sont des engins capables d'extraire et de transporter des minerais ou de la houille au rythme de centaines de tonnes à l'heure.

On pourrait simplifier le fonctionnement du système actuel en considérant un schéma qui commence au niveau de la mine et finit dans une décharge (figure 1 ▼).



Gray Brechin (1999) raconte l'histoire de l'édification de la métropole de San Francisco à partir de l'exploitation minière en Californie. La ville devient une «mine à l'envers». Ce qui vaut pour le gratte-ciel dans le récit de Brechin vaut aussi bien pour le smart-phone dans nos poches, petite mine inversée, parmi tant d'autres. À partir de la mine, les techniques d'extraction produisent des unités de produits de grande pureté (lingots ou barres, etc.). Ces produits purs sont découpés, remodelés, assemblés, selon de très nombreuses manipulations et mises en forme, pour produire des objets finis ou artefacts. Lorsque ces produits sont usés ou inutilisables, ils sont décomposés et partiellement recyclés, et le reste, souvent majoritaire, est mis en décharge. Chaque étape demande des niveaux de puissance de très haut niveau (milliers ou millions de watts), et de grandes quantités de matériaux à un niveau inconnu du monde vivant (Bowyer 1995).

Le niveau de puissance est donc un deuxième critère pour repérer les technologies zombies, car le vivant utilise des niveaux de puissance basés sur l'irradiation solaire (**encadré 6**). La puissance d'un cheval est estimée à 740 watts. Un sportif de haut niveau développe une puissance de 400 watts pendant 20 minutes, avec des pics à 1 000 watts pendant quelques secondes. Mais un humain «normal» ne développe pas plus de 100 watts de manière stable. En comparaison, le moindre objet quotidien, comme le fer à vapeur, la bouilloire, le grille-pain, le mixeur ou l'aspirateur, développe des puissances de l'ordre de 1000 à 1500 watts, pendant quelques minutes à quelques heures. Un radiateur peut avoir une puissance de 2000 watts. Une voiture entre 10 000 et 60 000 watts, un tracteur, le plus souvent au-delà de 60 000 watts, c'est-à-dire l'équivalent d'attelages de quatorze à quatre-vingts chevaux ou au-delà. Un tramway parisien, 600 000 watts. Au volant de la moindre voiture nous sommes à la tête d'un attelage dont aucun roi de France n'aurait rêvé. Un camion, tels ceux qu'on voit sur les autoroutes dépassent largement la puissance de 500 chevaux.

Encadré 6. Irradiation solaire et sa référence en puissance

Pour mesurer l'anomalie que représentent nos zombies par rapport aux cycles de la biosphère, il est utile de comparer les niveaux de puissance en les rapportant à l'irradiation solaire, c'est-à-

dire la source d'énergie ultime dont dispose la planète (chapitre 4). L'irradiation solaire apporte une quantité considérable d'énergie, mais celle-ci est dispersée sur toute la surface de la planète. Pour nous passer des stocks fossiles, qui nous condamnent à la zombification, il nous faut prendre la mesure des surfaces d'irradiation solaires qui seraient nécessaires pour atteindre les niveaux de puissance caractéristiques du fonctionnement des techniques modernes. Un tel calcul doit intégrer l'ensemble des surfaces consommées, de l'extraction à la fin de vie, dans une logique d'ACV (analyse de cycle de vie) très intégrée. Une tâche de grande ampleur.

Prenons un objet du quotidien : une simple bouilloire électrique. Pour chauffer un litre d'eau de 20 °C à 100 °C, en absence de perte par diffusion thermique et ébullition, avec une puissance de mille watts, il suffit d'environ six minutes. Comment chauffer cette eau en se contentant du flux d'énergie solaire ? Sur la surface du disque terrestre tourné vers le soleil, au niveau du sommet de l'atmosphère (environ à 100 km d'altitude) la puissance maximale qui arrive du soleil est de l'ordre de 1 362 W/m² (chapitre 4). L'énergie totale est gigantesque, diluée sur l'immense surface correspondante, 510 millions de km², dont 150 constituent les terres émergées (chapitre 4). En valeur de crête au niveau du sol, c'est-à-dire au maximum de puissance – ciel dégagé, soleil quasi à la verticale – cela ne dépasse pas 1 000 watts/m², la valeur moyenne étant de 340 watts/m². Sur le simple critère d'énergie consommée, notre bouilloire exigera donc pendant ces six minutes l'équivalent de 3 m² d'irradiation solaire en surface terrestre.

Ce calcul néglige trop de paramètres. Il s'agit d'énergie électrique, c'est-à-dire une énergie transformée avec des rendements variables, mais toujours inférieurs à 30 % en moyenne, selon l'origine de l'énergie utilisée pour la produire (de l'ordre de 20 % pour le photovoltaïque). Il faut ajouter la part d'énergie grise pour le processus qui va de l'extraction des matériaux pour construire ma bouilloire, jusqu'à la déchetterie et le recyclage éventuel, la consommation des matériaux dans le processus, et rajouter la part affectable au réseau électrique et à tout l'environnement qui permet en un simple petit geste de chauffer cette eau dans ma cuisine, sans trop y penser. Cela revient à faire l'analyse complète du cycle de vie de la bouilloire et du système qui la permet. Nous pouvons estimer que l'intégration de l'ensemble du milieu technique comme condition de ce petit geste de chauffer l'eau, multiplie par 5, *a minima*, l'énergie et donc la surface

requis. Voici qu'il me faudrait, globalement, extraire l'énergie de 15 m² d'irradiation solaire pour chauffer mon eau.

On peut obtenir de l'eau chaude domestique, à partir du soleil, avec des plaques noires, posées sur un toit, faites d'eau circulante, dont le rendement moyen, en situation réelle, est généralement excellent (supérieur à 30 %). Dans ce cas, les calculs et la pratique montrent que moins de 4 m² devraient suffire pour fournir toute l'eau chaude (douches, bains et autres) pour une famille. Néanmoins, le système ne fonctionnera que pendant 50 à 70 % du temps, uniquement de jour ; un certain nombre de journées, selon la région, sont sans soleil. Une des manières de lisser ces variations est d'augmenter la taille du ballon d'eau chaude qui, bien isolé, peut servir de stock pendant les jours avec peu ou pas de soleil. Dans ce cas, il faut, dans l'ACV, intégrer les coûts énergétiques et matériaux de fabrication du ballon, et prendre en compte toutes les composantes du milieu correspondant. Il est clair qu'au final le rendement énergétique sera globalement bien meilleur que celui de la bouilloire, mais avec la nécessité de produire et stocker journalièrement des quantités importantes, ce qui peut être justifié pour une famille, mais augmente les surfaces de référence.

Toutes les installations dites renouvelables, même à rendement excellent, fournissent des puissances inférieures à l'irradiance solaire par m² pour une unité de surface globale correspondant à ce qui a produit le flux renouvelable. Ce fait physique élémentaire, qui découle des principes de la thermodynamique, peut être masqué par le caractère local des concentrations de puissance : éolien et hydroélectrique, par exemple, génèrent localement des puissances qui dépassent très largement leur empreinte directe au sol. C'est oublier la surface réelle globale mobilisée, d'abord pour réaliser l'installation et pour la connecter au réseau (avec consommation de béton, métaux, etc.), mais aussi celle qui est impliquée pour générer les débits de vents ou d'eau en ce lieu concentré : l'installation mobilise un espace géographique bien plus vaste pour fonctionner, elle a besoin de reliefs, bassins-versants, etc., qu'il faut réintégrer au calcul. On peut argumenter que l'espace mobilisé par les renouvelables reste encore appropriable pour d'autres usages extractifs. Dans le cas du barrage, si je capte l'énergie du vent, les mêmes surfaces sont encore disponibles pour extraire de l'énergie éolienne. Cela augmente, certes, « l'extraction de l'irradiance solaire », mais avec des coûts supplémentaires, d'installation et donc d'énergie et de matériaux pour lesquels une ACV sera nécessaire et peut même, dans ce cas, conclure à un surcoût, car le

lieu sera rarement propice à une utilisation optimale à la fois du vent et de l'eau, augmentant de fait la surface globale mobilisée nécessaire à la construction de l'installation. On ne peut pas mettre de l'éolien n'importe où. On ne peut pas extraire toute l'énergie solaire d'un lieu, sans mobiliser d'autres surfaces.

Si les surfaces réelles mobilisées sont très difficiles à calculer dans le détail, il reste utile de se livrer à des évaluations en gros. En intégrant toutes les surfaces concernées, les énergies renouvelables ont forcément une puissance, par unité de surface globale calculée, largement inférieure à l'irradiance solaire, conformément aux deux principes de la thermodynamique, la conservation de l'énergie et l'entropie.

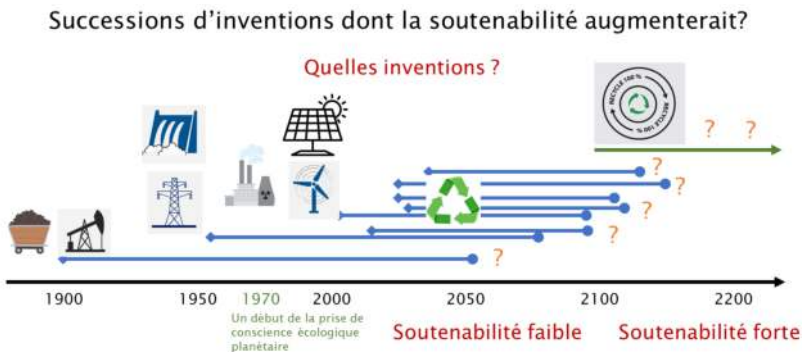
Certains créateurs de start-ups⁴ ont eu l'idée de fabriquer de la biomasse à partir de cellules vivantes photosynthétiques (algues ou cyanobactéries) cultivées dans un système multicouche, en hauteur, éclairé par des LED optimisées. Les inventeurs-entrepreneurs montrent que la surface de l'usine potentielle correspond à moins de 1 % de la surface de sol nécessaire pour produire cette même quantité de biomasse (cultures à plat en milieu liquide sur le sol et exposées au soleil). Ce faisant, ils oublient tout le système industriel impliqué, ses besoins énormes en énergie électrique, en matériaux de toutes sortes, en ingrédients alimentaires, etc. Une ACV complète, non effectuée à ce jour, montrera, si on la faisait, que ce système industriel consomme en réalité une surface réelle globale bien supérieure à une simple production agricole ou forestière. Selon les deux principes de la thermodynamique, il ne peut en être autrement. Ce principe s'applique aux fermes verticales en production, dont l'ACV globale n'a jamais été réalisée, car l'objet est de produire des végétaux frais tous les jours en pleine mégapole quel qu'en soit le coût.

Pour obtenir ces objets du quotidien, il faut des hauts-fourneaux, des laminoirs, des cimenteries, des productions de verre, de plastique, etc., dont les puissances unitaires dépassent souvent cent millions de watts, soit de 120000 à 150000 chevaux, ou encore un bon million de travailleurs humains, pour chaque usine. À la fin, après utilisation puis panne, soit les produits usagés s'empilent

[4] Il n'est pas possible ici d'indiquer le nom du projet (confidentiel). Mais il faut savoir que ce sont des projets conçus par des ingénieurs. De telles idées circulent d'ailleurs sur internet.

(décharge), soit ils sont recyclés dans des usines, à nouveau avec de hauts niveaux de puissance. Pour les artefacts de longue durée comme les habitations ou les routes, les processus continus de restauration et de maintenance conduisent à des volumes importants de gravats dont la majorité finit le plus souvent en décharge car les filières de récupération n'existent pas. Que ce soit pour l'énergie ou les matériaux, le problème est le même.

Tous les systèmes de production, sans aucune exception, y compris la production d'énergie qui ne vient pas des énergies fossiles, sont des installations industrielles qui ont besoin d'énergies fossiles, de matériaux très divers et des flux importants d'eau pour leur mise en place⁵. La production d'énergie elle-même, à partir de sources renouvelables ou pas, demande des installations dont la mise en place exige des matériaux divers dont l'origine vient toujours de mines ou de carrières et de l'eau qui vient de rivières ou fleuves. Ces extractions et constructions sont réalisées grâce à des machines qui, à ce jour, fonctionnent toutes à partir d'énergies fossiles et sont fabriquées selon la même logique industrielle. La **figure 2 ▼** montre un certain nombre de technologies de récupération d'énergie. Peut-on



Inventer des technologies soutenables selon quels critères?

comparer précisément leur durabilité? Pour cela, il faut analyser la totalité du cycle de production en tenant compte de la durabilité

[5] Le calcul est complexe car il doit agréger des données différentes : énergie, matériaux minéraux, bois, flux hydriques, etc. De là le concept plus large d'*empreinte écologique* (Boutaud & Gondran 2018).

de toutes les ressources employées depuis la mine à la «décharge» ou au recyclage et le corrélér aux puissances du vivant, à celle de l'irradiance solaire et donc de la surface globale impliquée.

5] Le vivant fonctionne à bas niveau d'énergie et de consommation de matière

Les niveaux de puissance du vivant sont énergétiquement fondés sur la photosynthèse, cette activité propre aux plantes, algues et bactéries photosynthétiques. Aujourd'hui, ce sont les plantes continentales, arbres compris, qui représentent la plus grande part de cette activité. Les cyanobactéries pèsent, aujourd'hui, nettement moins, tout en étant un élément important de «l'écosystème Mer».

Le calcul du rendement quantique (ϕ) de la photosynthèse, défini comme le rapport molaire entre l'oxygène libéré lors de la photosynthèse (proportionnel au carbone assimilé) et les photons absorbés au cours du processus ne dépasse pas 1 %. Si nous reprenons la valeur moyenne de 340 W/m^2 d'énergie reçue au niveau du sol (encadré : irradiance solaire), la photosynthèse ne prend, en moyenne, que 3 W/m^2 . Ce rendement est très faible, car les organismes photosynthétiques doivent être capables de s'adapter à des conditions environnementales très variables dans le temps et dans l'espace sachant que, comme tous les vivants, un métabolisme minimum est nécessaire pour survivre, à tout moment, en absence de lumière et d'eau. La fabrication de «l'outil vivant» qu'est le système photosynthétique est très coûteux pour la plante.

Tous les processus du vivant, sans exception, utilisent des puissances faibles, sur la base de la photosynthèse. Il existe des processus de concentration avec des pertes à chaque étape. Les plantes récupèrent 1 % de la puissance par mètre carré, les herbivores entre 0,1 % et 0,2 %, et les carnassiers, environ cinq à dix fois moins. Le guépard en puissance de crête développe plus de 1000 watts, sur un laps de temps court, rarement plus d'une minute, et s'il attrape une gazelle, cela le nourrit pour plusieurs jours, mais il a fallu plus d'un hectare de savane pour «produire» la gazelle en un ou deux ans.

Le vivant peut concentrer de l'énergie ; cela demande du temps, à partir de processus à basse puissance, même pour les prédateurs du sommet de la chaîne alimentaire, lesquels sont donc peu nombreux. Outre le carbone, le vivant est constitué d'hydrogène,

d'azote, de phosphore et de soufre. Il a besoin d'autres atomes, en moindre quantité, comme le potassium, le chlore, le sodium, le calcium. Il utilise des minéraux tels que le magnésium, le fer, le zinc, le cuivre, le manganèse, le sélénium, le chrome, le molybdène, l'iode, le cobalt, le nickel, le vanadium, l'étain, ainsi que l'aluminium, l'arsenic, le baryum, le brome, le silicium, l'argent ou le titane, à doses infimes, présents comme cofacteurs des catalyseurs des réactions enzymatiques à basse puissance, et sont donc consommés lentement.

6] Les cinq principaux critères de zombéité des techniques

Le néologisme proposé ici, la zombéité, définit un concept quantifiable, sur une échelle de 0 à 50, de l'objet ou du système technique potentiellement zombie à différents niveaux. En effet, il existe à ce jour au moins cinq critères cumulatifs (notés de 0 à 10, mesurables selon une logique d'échelle de temps). On peut ainsi faire des calculs qui ressemblent aux hectares globaux de l'empreinte écologique, ou aux *planetary boundaries* (Kai Bona *et al.* 2021, Li *et al.* 2021), L'échelle de mesure proposée est un peu arbitraire, dans le sens où il s'agit d'une échelle normative qui peut être retouchée. Mais au moins cela donne une tendance. La recherche pourrait permettre de mieux pondérer chaque critère et de les combiner, selon des logiques ici additives, mais qui pourraient être multiplicatives, ou plus élaborées, selon le critère.

6.1] La zombéité de stocks énergétiques

Toutes les techniques fondées sur les énergies fossiles sont zombies selon l'échelle de temps pour consommer ces énergies. Si, dans les conditions actuelles, nous en avons pour au moins 1 000 ans, nous pouvons estimer ce critère de zombéité à zéro (ou durabilité très forte). C'était le cas du charbon en 1850. Dans l'échelle choisie ici, si ce temps ne dépasse pas le siècle, la zombéité de ce paramètre monte à 10 (durabilité très faible). En 2023, ce paramètre ne peut être inférieur à 9 (durabilité faible).

6.2] La zombéité de stocks de minerais

Certaines technologies sont fondées sur de nombreux matériaux associés. Si le matériau limitant pour ces technologies, dispose de stock de mille ans ou plus, lors de l'évaluation, là aussi ce critère de

zombéité sera à 0. Si son stock est inférieur à cent ans, ce critère sera à 10.

6.3] La zombéité de puissance

Toute technique exigeant une grande puissance doit trouver sa source sur une surface globale d'autant plus grande. L'usage planétaire de cette technique à une époque donnée, si sa surface globale d'enracinement est de l'ordre de grandeur de la capacité d'accumulation de l'irradiance solaire continentale ce critère sera à 10, si elle ne consomme que 10 %, elle sera à 1. Par exemple, ce calcul peut être effectué pour l'énergie hydroélectrique, en prenant comme base le bassin-versant correspondant à chaque barrage.

6.4] La zombéité de flux

Toute technique fondée sur l'utilisation d'un flux, qu'il soit non-vivant (eau, vent, sédiment, etc.) ou vivant (poissons, oiseaux, arbres/plantes, animaux terrestres lacustres ou marin), en consommant davantage que le flux, finit par tarir l'origine du flux. Toute technique dont on prouve qu'elle prélève davantage que le flux qu'elle ponctionne ce qui permet de prédire sa fin d'ici un siècle voit ce critère évalué à 10 et à 1 si la fin dépasse 1 000 ans. On peut évaluer que l'ensemble de la pêche industrielle est aujourd'hui à 10. Elle l'était pour le cabillaud de Terre-Neuve, avant 1960. L'utilisation des forêts mondiales peut aussi être estimée de la même manière.

6.5] La zombéité de sénescence et de recyclage

Les techniques conçues pour produire des objets qui ne peuvent pas être réparables ou utilisant des objets/outils à durée de vie courte, dont le recyclage est impossible avec les technologies du moment, et dont le destin final est la destruction, la décharge ou l'impossibilité de les récupérer, sont des techniques zombies selon la même logique que la zombéité de stock. Ce critère de zombéité est à 10 si rien n'est recyclable, à 1 si le recyclage dépasse 98 %. Le critère le plus simple est de calculer au poids, un autre serait de calculer en valeur économique. Par exemple les technologies utilisant des composites ou composés de matériaux très finement mélangés et associés au point d'être non recyclables à faible coût ont une zombéité forte probablement supérieure à 7 et d'autant

plus proche de 10 que quasi rien n'est recyclable. Exemple : le socle matériel des technologies numériques.

6.6] Existe-t-il une zombéité de pollution ?

La pollution entraîne généralement une modification du milieu dont l'excès peut réduire le potentiel de récupération de l'irradiance solaire. Exemple : gaz à effet de serre, pollutions plastiques, métaux lourds et tous les produits dégradant la biodiversité. Non seulement le calcul est impossible, mais, en outre, il s'agit de conséquence de la zombéité. Ces conséquences d'une zombification accrue sont étudiées par le Giec (IPPC) et l'IPBES. On peut conclure qu'une zombéité forte d'une nouvelle technologie ou d'un nouveau système technique a de fortes chances d'avoir des effets négatifs selon le Giec et l'IPBES. Plus la zombéité est élevée, plus le vivant est attaqué, plus la zombification peut s'étendre.

La conclusion générale est que selon une approche de durabilité forte, soit bien après le XII^e siècle, il n'y a pas d'issue dans la poursuite « comme d'habitude » du développement actuel. L'écrasante majorité des techniques actuelles est zombie ou en cours de zombification.

Les « technologies zombies » continuent d'envahir le monde au détriment du vivant et de l'humanité d'autant plus que leur zombéité est élevée.

7] Temporalité et scalabilité

Nous l'avons vu, la zombéité dépend aussi des échelles d'utilisation. Celles-ci réintroduisent une dimension politique dans la définition des zombies. Des véhicules électriques individuels dont l'usage serait limité à des usages collectifs spécifiés sont-ils insoutenables ? Cela se discute. En revanche, la zombéité du véhicule électrique comme solution de mobilité universelle pour 9 milliards d'humains est maximale.

Inversement, on pourrait considérer que l'utilisation des énergies fossiles pourrait être dézombifiée si elle servait, à petit volume, à fabriquer des instruments, outils, ustensiles, à très longue durée de vie, aisément réparables et recyclables, pour des usages quantitativement limités..., ce qui était déjà la recommandation de sobriété que faisait le chimiste Mendeleïev au tsar Alexandre III à propos

du pétrole. Mendeleïev écrivait au tsar de Russie Alexandre III en 1882 : « Ce matériel est trop précieux pour être brûlé ; quand nous brûlons du pétrole, nous brûlons de l'argent ; il faut l'utiliser comme matière première de la synthèse chimique. » L'usage du charbon dans des technologies à hautes puissances, dès la deuxième moitié du XVIII^e siècle, sur quelques sites européens, pouvait difficilement le faire qualifier de zombie. L'introduction du charbon a même été soutenue, à l'époque, au nom d'arguments écologiques : il promettait de limiter la déforestation, mais aussi les surfaces agricoles nécessaires à l'exploitation de l'énergie animale ! Au rythme d'utilisation du milieu du XIX^e siècle, en Europe seulement, soit 1,5 million de tonnes en 1855, en remplacement de l'usage du bois, cela pouvait durer de nombreux millénaires sans affecter le cycle du carbone qui avait déjà connu des variations d'ampleur supérieure. Mais sur l'année 2022, 167 ans plus tard, il s'agit de 8 milliards de tonnes par an, soit 5 000 fois plus. La zombéité du charbon est passée de 0 à 10 en moins de deux siècles.

Toutes les technologies basées sur le charbon sont désormais « zombifiées » par l'énormité de l'extraction et de la consommation. Un tiers de l'électricité mondiale, dont dépendent toutes les hautes technologies, est produite à partir de charbon. Une réflexion sur son usage, sur la durée de son usage aurait pu avoir lieu, mais indéniablement, la zombification relève du « toujours plus » sans imaginer que les stocks, qui ici ne se renouvellent pas, ou si peu, sont voués à disparaître. Toutes les techniques récentes, sont zombifiées car la zombéité du charbon s'est accrue de manière exponentielle. Les énergies dites renouvelables n'échappent pas à ce constat, selon la logique des références glissantes. Elles ont tendance à s'ajouter aux sources d'énergie actuelles sans les remplacer. De plus, elles consomment de manière croissante des ressources minérales de stock, dont des lanthanides (terres rares) ou encore du cuivre (réellement rare, si la logique est de tout mettre en réseau). Dans une logique de croissance de la production/consommation, les stocks et les flux, qu'il s'agisse de matière ou d'énergie, sont menacés. Sans jouer sur le facteur de la demande, l'éolien, comme le solaire photovoltaïque sont des technologies zombies dès leur naissance.

Est-ce à dire qu'elles ne doivent pas être déployées ? Les problèmes du réchauffement climatique se posent dans l'immédiat et

non aux échelles temporelles de la soutenabilité forte. La soutenabilité n'est pas gravée dans le marbre de la physique, elle dépend de la consommation. En revanche, l'exploitation de sources renouvelables, en supposant la stabilité ou la croissance de la demande, est déjà marquée du fer rouge de la zombéité forte. Elle ne nous permet pas d'échapper à la zombification qui affecte l'ensemble de notre système technique actuel. C'est ici que la perspective de la soutenabilité forte apparaît vertigineuse, tant l'immense majorité de nos techniques sont éloignées d'un tel critère.

L'estimation de la zombéité d'une technique a un impact sur la relation suppléance-substitution. En situation de très forte zombéité du système, la suppléance d'une nouvelle technique la rend zombifiante. Il convient alors de ne rechercher que la substitution vivifiante ou la suppléance très localisée. Le cœur du problème vient de la propriété des techniques zombies. Toute zombification accroît la zombéité qui elle-même accélère la zombification. Paradoxalement le mortifère est contagieux.

8] Se donner du temps: dézombifier

L'historien Fernand Braudel distinguait trois temps de l'histoire: un «temps individuel», le plus court, dont l'unité est donc au maximum de l'ordre de la durée d'une vie en activité; le temps des sociétés, qui permet de noter des ruptures sociales ou politiques, avec de multiples temps plus ou moins longs, qui se comptent en siècle; et un temps géographique dont les unités sont de l'ordre du millénaire. Le développement technique met en tension ces différentes temporalités.

Nous avons retenu une échelle temporelle de l'ordre de mille ans comme référence de soutenabilité forte. Pourquoi ce nombre plutôt qu'un autre? L'évaluation intègre les capacités d'action des sociétés humaines. En deçà, la durabilité s'affaiblit; sur cent ans, c'est une durabilité quasi nulle, car saura-t-on sur cette durée anticiper et réaliser les transformations techniques nécessaires? Il a fallu deux siècles d'innovations techniques pour mettre en place une zombification générale au point que toute nouvelle technique montre une forte zombéité. Il nous en faudrait moins pour revenir aux techniques vivantes sans trop de destructions par ailleurs. La soutenabilité n'est pas une donnée physique, indissociable de l'action humaine. Si

l'épuisement d'un stock n'apparaît pas estimable à long terme, on aura le temps de réfléchir et d'infléchir le mouvement, à condition d'y réfléchir et d'infléchir les actions plus de cent ans à l'avance : la durabilité devient forte.

Ces intervalles de temps concernent l'avenir, ils délimitent des possibles. Nous ne connaissons pas tout du passé qui a conduit à l'état actuel du « système Terre. » L'activité scientifique (sciences géologiques, archéologiques, paléontologiques, historiques, etc.) permet peu à peu de construire des trajectoires possibles. Plus la recherche remonte dans le temps et plus les trajectoires possibles reconstruites sont nombreuses, se diversifient, se complexifient. L'ensemble des passés reconstruits s'accroît avec la profondeur du temps ancien. Mais du côté de l'avenir aussi, l'évolution de la biosphère, celle des différentes populations humaines, les mutations techniques, les besoins en ressources, sont autant de conditions qui ouvrent des possibles et permettent d'imaginer des futurs différents selon de multiples scénarios. Plus la visée est lointaine, plus les avènements possibles sont divers. Donc dézombifier, ou vivifier, c'est se donner le temps pour la réflexion et l'inflexion.

Ainsi, une soutenabilité forte doit se penser en fonction de la vitesse d'évolution des sciences et techniques, de l'évolution de la démographie, du niveau de développement socio-techno-économique, de la durée d'utilisation des ressources qui correspondent à des stocks, du niveau de renouvelabilité des ressources renouvelables en fonction des évolutions sociétales et techniques et en prenant comme visée au moins le millénaire.

L'usage à grande échelle de techniques zombies, actuellement, est corrélé avec la sixième grande extinction du vivant dont on décèle l'accélération (cf. **figure 4** de l'**encadré 7**). Il y a manifestement un lien entre la zombéité croissante des techniques zombies elles-mêmes, accroissant leur prolifération, avec le changement climatique et la baisse de biodiversité. La compréhension des extinctions de masse qui ont déjà existé à l'échelle de la planète, outre leurs aspects de savoirs, permet de positionner la conception orientée milieu dans le contexte global de l'évolution géologique. Oui, notre activité collective planétaire nous met dans un cadre de changement planétaire dit « Anthropocène » qui correspond à une sixième extinction du vivant. Elle nous met en face d'une responsabilité

comme concepteurs de nouvelles technologies dans notre rôle de modificateurs, dans un sens ou dans l'autre, de notre influence sur le milieu. Pouvons-nous, en tant que concepteurs, limiter cette sixième extinction qui n'en est qu'à ses débuts et qui vient indéniablement de l'activité humaine ? La **figure 3** hiérarchise les actions du concepteur de techniques.



FIGURE 3. Missions des concepteurs pour la dézombification des techniques actuelles.

Encadré 7. Les cinq grandes extinctions du vivant associées à des changements d'ères géologiques

Cf. **figure 4**. L'ordonnée représente le pourcentage de genres, dans la taxonomie des vivants, qui ont disparu lors de ces cinq extinctions. Le pourcentage en nombre d'espèces et sur tout en nombre de vivants de vivants est bien plus élevé. Car toute extinction de masse est corrélée avec une baisse des populations des espèces survivantes. L'abscisse commence à partir de l'explosion précambrienne (faune d'Ediacara, faune de Burgess, cf. **chapitre 4**), vers -550 millions d'années quand les animaux ont commencé leur première grande radiation. Le temps actuel (zéro indiqué ici) se montre être le point de départ, depuis 10-15 000 ans, d'une sixième extinction majeure qui correspondrait aussi à un changement d'ère géologique, l'Anthropocène, avec une rupture décelable par les sédiments spécifiques émis par l'activité humaine, devenue une véritable force géologique. La date précise de cette nouvelle époque n'est pas encore définie : début de l'Holocène et du néolithique ? Période

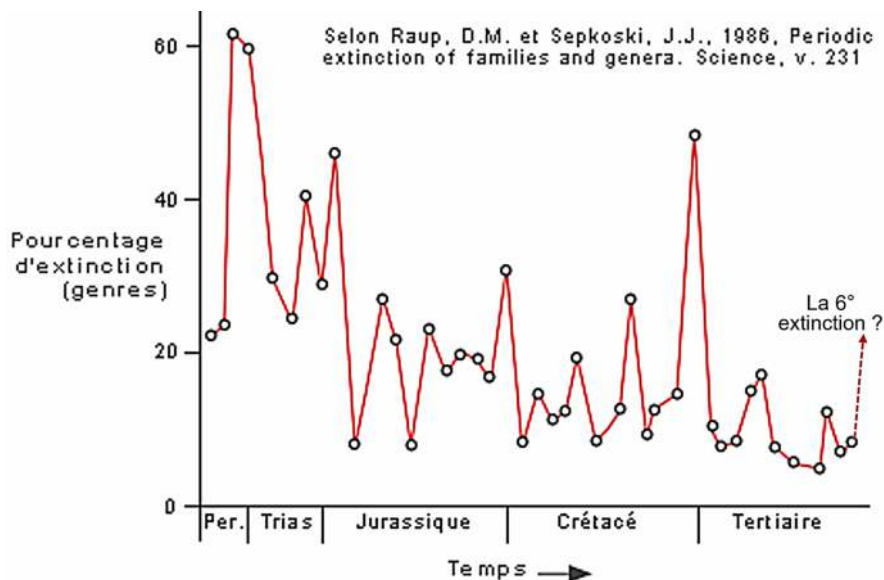


FIGURE 4. Les 5 grandes extinctions du vivant associées à des changements d'ères géologiques. Vers une sixième extinction ?

des grands empires, temps zéro de l'ère commune? Effondrement des civilisations amérindiennes, XVI^e siècle, entraînant le début du mini-âge glaciaire? Début de l'industrialisation massive, début du XIX^e siècle? 1946 avec la «grande accélération»? 1987 avec le début du dépassement des capacités planétaires? Les géologues ont détecté un signal physique daté de la fin des années 1940, début des années 1950; l'augmentation de la radioactivité dans les sédiments.

Une grande extinction de masse est une crise du vivant, avec une baisse globale de biodiversité qui peut être brutale; elle est suivie d'un regain de biodiversité, dans la longue durée, sachant qu'associée à l'émergence de nouvelles espèces existe un «bruit de fond» d'extinctions. Les causes de chaque grande extinction ne sont pas également connues.

Celle de la fin de l'Ordovicien (il y a 445 millions d'années), très brutale, résulterait de l'explosion d'une étoile (supernova) à quelques années-lumière du système solaire. Ce fut, entre autres, la fin des trilobites; à l'époque il n'y avait pas d'être vivant multicellulaire sur les continents. 70 % des espèces de la faune, essentiellement marine, ont disparu.

L'extinction de la fin du Dévonien, entre -385.3 millions d'années et -374.5 dura environ trois millions d'années. C'est l'extinc-

tion qui dura le plus longtemps. Les causes sont multifactorielles : réchauffement climatique et acidification des mers, différentes éruptions volcaniques, impacts extraterrestres.

L'extinction de la fin du Permien a eu lieu il y a environ 252 millions d'années, avec la disparition de 95 % des espèces marines et de 70 % des espèces terrestres. La cause principale vient d'un événement exceptionnel : l'unification de l'ensemble des continents en un seul, la Pangée, limitant de fait la longueur des côtes et le nombre de biotopes, les zones continentales étant soumises à une forte aridité. Il semble qu'en outre des météorites aient frappé la Terre. Ce fut la plus grande extinction de l'histoire du vivant.

L'extinction du Trias-Jurassique s'est produite à la fin du Trias, il y a 200 millions d'années, avec la fracturation de la Pangée. On ne connaît toujours pas la cause exacte de cette extinction de masse et plusieurs hypothèses existent : changement climatique, éruptions volcaniques, collision d'astéroïdes.

La dernière, il y a 65 millions d'années, est la plus connue, l'extinction qui marque la rupture Crétacé-Tertiaire. La plupart des grands vertébrés disparurent, dont les dinosaures, mais aussi de nombreuses familles ou clades marins. Environ 60 % des espèces disparurent, les insectes étant l'embranchement qui a le mieux résisté. La cause qui a rassemblé le plus de preuves est la percusion d'un astéroïde d'environ 15 km de large à Chicxulub dans la province du Yucatán au Mexique. Cette énorme explosion a transmis à l'atmosphère des immenses nuages de poussières et d'aérosol assombrissant le ciel. Mais on doit souligner aussi un volcanisme très important (Dekkan indien).

Les preuves s'accumulent d'une sixième extinction qui a commencé avec disparition de la mégafaune holarctique (-30 000 à -10 000 BP), puis de nombreuses extinctions de grands vertébrés de l'Eurasie et de l'Amérique (-10 000, -2 000 BP), les oiseaux dont les non-volants de manière massive, les oiseaux et autres animaux des îles de la Méditerranée, du Pacifique et de l'océan Indien, et maintenant (depuis 3 à 4 siècles) l'ensemble de la faune et même de la flore sur l'ensemble du globe terrestre avec une accélération récente depuis une cinquantaine d'années. La cause de cette accélération serait le développement massif de l'espèce humaine et de ses activités de chasse, de pêche, puis d'agriculture et d'élevage, associés à l'accroissement très rapide des populations humaines, puis le changement climatique dû aux gaz à effet de serre résultant de la combustion des énergies fossiles, auxquels s'ajoutent l'extrême frac-

tionnement des milieux dû aux constructions humaines, l'homogénéisation des surfaces par l'agriculture moderne et l'usage général de bactériocides, de fongicides, d'insecticides. 25 % de la production primaire brute végétale planétaire est ponctionnée chaque année par le genre humain (Haberl *et al.* 2007).

9] Qu'est-ce qu'une technique vivante ?

Cette expérience de pensée qui vise une soutenabilité très forte non permet de comprendre les techniques zombies. Quel genre de technologies vivantes pouvons-nous imaginer à l'aune de critères aussi exigeants ? Il est aisé de trouver des technologies vivantes : d'après Mauss lui-même, notre corps est notre premier objet technique (Mauss 1934, Karsenti 1998). Les activités sportives de la Grèce antique sont basées sur des techniques vivantes. Une technologie vivante peut être comparée à une forme de domestication du vivant. On utilise certaines races de chiens pour garder des troupeaux, d'autres pour chasser « à l'arrêt », d'autres pour chasser dans des terriers et d'autres, des molosses, pour la guerre (Romains, Espagnols en Amérique). Le chien a aussi été utilisé pour la traction, urbaine ou non urbaine, de relativement petites charges dans des conditions extrêmes (Malaurie 1989) ou dans de petits moteurs animaux au XIX^e siècle. Nous utilisons les animaux de traits depuis longtemps et le cheval est le modèle de la technique vivante qui a pu changer le sort des batailles. Avant de se lancer dans le développement de robots d'accompagnement, tous plus zombis les uns que les autres, les animaux de compagnie ont peuplé les maisons des riches et les anecdotes de rois ou de reines, attachés à leur chien préféré au point de dormir avec lui, sont légion. La médecine a utilisé les sangsues pour des saignées douces.

Le registre de la domestication concerne autant les animaux que les plantes, ainsi que de nombreux micro-organismes (levure de bière, moisissures, bactéries lactiques, etc.), dont le début de la domestication a commencé il y a de nombreux millénaires. La domestication peut conduire à des outils non vivants, mais venus du vivant : cordes, tissus et habits divers, chaussures, colles, pigments, caoutchouc, bâtons, cannes, lances, arcs, etc. Il s'agit d'exemples historiques encore en cours de diversification. La production à partir du vivant continue à se diversifier : cultures de plantes médicinales, aromatiques, sources d'énergie.

La première qualité des techniques vivantes, lesquelles incorporent les techniques issues du vivant, c'est qu'elles se reproduisent, elles se recyclent. Les humains dépendant uniquement de techniques vivantes peuvent se maintenir indéfiniment dans le monde naturel, à condition de ne pas dépasser quantitativement un certain flux de masse, nous l'avons vu avec la pêche ou la foresterie. L'exemple des pêches montre que des techniques vivantes peuvent être zombifiées. De fait, jusqu'au XV^e siècle, il semble que tous les peuples, nomades ou sédentaires, vivant en petits groupes ou en États importants, ont vécu en très grosse majorité et parfois essentiellement de techniques vivantes. Ce sont les infrastructures et les systèmes logistiques qui, dans le cadre des grands États, ont fait appel à des techniques non vivantes (issues de pierres, de métaux ou de minerais). On connaît par exemple l'usage important des métaux par les Romains qui ont conduit à l'épuisement de certaines mines (Liard 2010, Radetzky 2009, Sungmin *et al.* 1996).

À ce jour, le modèle-type de la technique vivante est celui de la domestication. Par analogie, on pourrait élargir ce concept à celui de techniques qui ne proviennent pas d'organisme vivant mais qui utilisent l'énergie à bas niveau de puissance et peu de flux de matière. De plus, les matériaux utilisés doivent être optimisés pour être complètement recyclables à bas niveau d'énergie. Il serait intéressant de faire la recension de ces techniques et de mettre en place des recherches et développement pour les mettre en œuvre. La production directe d'eau chaude solaire se rapproche fortement d'une technique vivante. Un capteur photovoltaïque a un rendement, par unité de surface, au moins vingt fois supérieur à la photosynthèse et on pourrait dire que sa production d'électricité est une technique vivante, en ne considérant pas l'équivalent en surface consommé pour sa fabrication, son transport, son installation, son recyclage. Cela pourrait inverser les rapports. De nouveaux capteurs plus efficaces et plus légers apparaissent, des recherches connectent processus photosynthétiques et puces électroniques, etc. La technique vivante est conceptualisable, mais le nombre d'exemples nouveaux depuis vingt ans reste limité. De fait, l'exploration, la conception et la mise en œuvre des techniques vivantes sont en très grande part à inventer. Les financeurs de recherche ne regardent pas encore dans cette direction.

Le lin, le chanvre, le sisal, la laine, le coton, la soie, sont des fibres utilisables selon une approche de techniques vivantes, à condition de limiter les volumes produits aux capacités initiales photosynthétiques, et en conséquence d'allonger considérablement la durée de vie des produits fabriqués. On a l'exemple d'Hermès, avec ses carrés de soie ou ses sacs, qui s'oriente dans une telle direction, mais on pourrait aussi regarder l'évolution des matelas et le retour vers des matelas en laine ou en latex qui pourraient durer une vie, etc. Emmanuel Dockès (2017), dans son *Voyage en Mysarchie* donne un aperçu fictionnel de ce que pourraient être des vêtements durables, très chers à l'origine, réutilisables au maximum, qui durent si longtemps que leur prix dépend des ventes/reventes, intégrant les temps d'usage déjà effectués. Le vêtement durable peut être revendu vingt fois ou davantage. Ce livre décrit une nouvelle forme de société qui inclut dans son organisation la durabilité, en particulier pour l'usage de vêtements. Mais on voit bien que le manque se situe dans la conception et l'imaginaire.

Le biomimétisme est-il la voie pour des techniques vivantes ? On se rapproche des techniques vivantes quand on invente des procédés physico-chimiques équivalents à ceux du vivant, quand on copie le vivant par les processus. Ces processus physico-chimiques produisent des matériaux et des fonctionnalités désirées. On s'éloigne des techniques vivantes si le biomimétisme mime les fonctionnalités du vivant mais avec des processus physico-chimiques différents, qui nécessitent des puissances, une chimie et des volumes incompatibles avec les cycles biogéochimiques. N'importe qui peut être frappé par la similitude du noyau hème de l'hémoglobine et celui de la chlorophylle, mais plus généralement, les composés porphyriniques (dont l'hème et la chlorophylle), remplissent des fonctions physiologiques fondamentales, dans toutes les cellules vivantes, bactériennes, végétales ou animales. À quand des techniques vivantes construites à partir de telles «briques» ?

La recherche d'un photovoltaïsme biologique est en cours. Par exemple, Mershin *et al.* (2012) sont partis du photosystème-I (PS-I) du complexe pigment-protéine membranaire au cœur de la photosynthèse, convertissant la lumière du soleil en énergie chimique pour le vivant. Leur but était de partir de ce nano-circuit pour produire directement de l'électricité. Ils ont décrit un dispositif

simple et peu coûteux à fabriquer, fonctionnant bien sous la lumière solaire standard et produisant une densité de puissance électrique de 81 MW/cm^2 (soit 810 W/m^2), ce qui est très élevé. Les médiateurs redox naturels cytochrome C et ferredoxine sont remplacés soit par une pâte nanocristalline de TiO_2 sur du verre recouvert d'oxyde d'étain dopé au fluor (FTO), soit par des nanofils de ZnO développés sur du verre ITO. Ces types de matériaux zombifient néanmoins le processus s'ils ne sont pas conçus pour être efficacement recyclés. Les deux solutions semblent efficaces. Il reste à valider les coûts énergétiques globaux de la purification des composants, de leur intégration et finalement de leur recyclage. On reste loin d'une technique intégralement vivante – les stocks actuellement de titane représentent 150 ans de consommation actuelle –, mais c'est néanmoins une recherche dans ce sens. Il va de soi que si on peut utiliser les composants de la photosynthèse pour produire directement de l'électricité, on échappera aux régulations propres au végétal et les rendements seront alors plus élevés. Mais, il faudra bien une régulation humaine pour ne pas zombifier aussitôt créées de telles technologies prometteuses.

Cette description des techniques vivantes conduit ainsi à mettre l'accent sur trois dimensions : les techniques vivantes recourent au vivant, dans la continuité des processus de domestication ; les techniques vivantes miment les processus du vivant, à bas niveau d'énergie pour obtenir des produits à longue durée de vie et des matériaux conçus pour être recyclés ; la réflexion est orientée pour des « niches ». Inversement, pour les techniques de production industrielle actuelle, les niveaux de puissance sont tels que seules des énergies primaires concentrées à l'origine (énergies fossiles, nucléaire) peuvent fournir les puissances demandées, sauf à mobiliser des surfaces immenses et des masses de matériaux correspondants, ce qui devient incompatible avec le fait de vivre nombreux sur la planète.

10] Les techniques zombies à la lumière du concept de techniques vivantes

Techniques vivantes et techniques zombies sont à la fois des idéaux-types opposés et des polarités qui travaillent chaque technique. Des techniques vivantes peuvent se zombifier. Si le modèle de

la domestication correspond à l'émergence des agricultures (élevage compris) depuis la «révolution néolithique», elle peut devenir mortifère si on lui ajoute de la haute puissance (engrais, mécanisation et surfaces maximales) pour chercher à atteindre le niveau de consommations d'énergie actuelle, ou si elle est utilisée sans considération des cycles végétaux (surpâturages), c'est-à-dire en dépassant les flux produits par la photosynthèse. De même, les événements sportifs actuels zombifient le sport (stade illuminé, climatisé ou pas, piste de ski arrosée par des canons à neige, circuit de F1...). Agriculture zombie, techniques du corps zombifiées, elles nous posent la question symétrique de «revitalisation» de techniques apparemment zombies.

Un premier paramètre concerne la scalabilité. On ne peut pas qualifier de technique zombie un marteau, une pince, une fourchette, un couteau ou une pelle. Ce sont des outils qui poursuivent et amplifient la perception et l'action humaine ; leur origine phylo-technique, c'est-à-dire au début de la technicité, se perd au moment de la divergence des groupes de grands singes qui finiront par évoluer vers l'humain, il y a entre six et dix millions d'années. On pourrait argumenter que quelques dizaines de milliards de marteaux, pinces, pelles, en acier spécial, pourraient devenir zombies par le seul effet de leur masse globale si ces outils s'usent rapidement et que leur remplacement reste consommateur de ressources. Néanmoins, on constate que globalement, l'ensemble de ces outils non machiniques pèse peu dans la balance énergétique et matérielle globale planétaire actuelle. Ils peuvent être réparés, leur recyclage pourrait être réalisé localement à bas coût énergétique.

Certains outils peuvent demander des puissances importantes, localement, pour leur fabrication et leur utilisation, mais pourraient être contextualisés et intégrés dans leur milieu d'utilisation. Dans le gradient qui va du vivant au zombie, quantifiable en niveaux de zombéité on s'éloigne d'autant plus de la zombification que la quantité est limitée et localement gérable. Le bricolage de l'artisan ou de l'agriculteur peut être conçu comme une dézombification. Mieux : l'appropriation par le milieu peut être conçue comme une forme de dézombification ou de revitalisation. Si les smartphones devenaient modulables, réparables, inter-compatibles, recyclables localement, ils se rapprocheraient d'une technologie vivante. Toutefois la nature actuelle des matériaux qui les constituent, et la façon dont ils sont

assemblés, limite les possibilités de recyclage et de compatibilité avec le vivant. On s'éloigne aussi d'une technologie vivante avec le besoin de réparation exigeant des pièces produites à 10 000 kilomètres – à partir d'un grand nombre d'éléments chimiques extraits de mines à stock fini situées sur les cinq continents. En bref, la quantification de la zombéité est une sorte de curseur. Nous avons vu qu'un haut niveau de zombéité produit son augmentation. Au niveau actuel, ce sera une lutte, mais il faut espérer qu'une fois enclenché sa décroissance, ce sera de plus en plus facile.

La durabilité conduit au concept de technodiversité qui sera exploré dans le **chapitre 12**. La diversité s'oppose à la scalabilité. Aucune technique vivante ne peut être multipliée à l'infini, pas davantage que les êtres vivants ni les humains eux-mêmes. Inversement, une technique utilisant de hauts niveaux de puissance, donc a priori zombie, s'assimile à une technique vivante si elle est régulée pour rester à un niveau quantitatif négligeable par rapport aux ressources qu'elle utilise. On ne peut donc pas garantir qu'une technique a priori zombie soit non durable dans l'absolu. Car on peut concevoir une telle technique, à petite échelle, qui s'abreuve, en énergie et ressource, en des points de concentration, pour des usages locaux, contextualisée à un niveau compatible avec les cycles du vivant.

Le concept de technique zombie s'applique directement à des machines, produites en grandes quantités à l'échelle de la planète, construites à l'aide d'autres outils ou d'autres techniques également zombies, qui consomment de l'énergie et des ressources matérielles à un niveau de puissance entre 1 000 et 10 000 fois plus que l'animal le plus puissant pour fonctionner et dénotent un minimum d'autonomie, même si elles doivent être conduites ou surveillées par des humains, ressemblant en cela aux zombies des techniques magiques haïtiennes. Pas de techniques zombies sans humain derrière pour les commander et sans apport continu d'énergie à haute intensité, à haute puissance (comparée à celle du vivant), sans production en grandes quantités non recyclables facilement. Les premières techniques zombifiées apparaissent avec l'ère industrielle.

11] La domestication, une technique réellement vivante ?

L'agriculture est particulièrement riche pour interroger ce gradient vivant-zombie. Des dizaines de millions de tonnes de pétrole

et d'engrais azotés, potassiques ou phosphorés, sont consommées chaque année pour que les surfaces agricoles mondiales produisent au-delà de leur capacité. Elles détruisent la biodiversité de leur environnement simplement en homogénéisant de grandes surfaces. C'est déplacer des techniques vivantes pour les rendre de plus en plus zombies. L'agriculture devient ainsi une sorte de cas d'école.

Historiquement, la domestication est un processus s'appuyant sur la possibilité de technique vivante. Nous définissons ici la domestication comme «un processus propre à la nature, matérielle, énergétique ou vivante, qui est la conséquence (ou la réponse) de l'usage répété et continu dans la durée d'une technique dans un contexte naturel précis, selon un dispositif stabilisé ou en évolution» (Dubois 2021).

La domestication du feu, qui a commencé il y a près de deux millions d'années, a été pendant longtemps productrice d'une construction de système technique quasi vivant. Les incendies de forêts ne sont pas des inventions humaines. Sans elles, il est probable qu'*Homo erectus* n'aurait pas pu apparaître et se développer, et cela, sans dommage particulier visible pour l'écosystème Terre. Cela a entraîné une autodomestication de l'humain qui depuis au plus de 400 000 ans ne peut plus vivre sans usage continu du feu, de même qu'un animal domestique ne peut plus vivre en dehors du milieu humain technicisé. *Homo sapiens*, parti à la conquête du monde depuis environ 60 000 ans, est autodomestiqué par ses domestications successives comme les micro-organismes (fermentation), la pierre (cassée, taillée, ciselée), le feu (alimentation, chauffage, fabrication d'outils), l'air (bateaux à voiles, moulin à vent et moulin hydraulique), l'eau (canalisations, irrigations), la terre (briques, poteries), le chien issu du loup gris du Moyen-Orient.

Jusqu'à 2000 ans BCE (avant l'ère commune), il paraît douteux de parler de zombification du vivant. Néanmoins, les prémices de cette zombification sont déjà là. C'est ce que les Grecs anciens appelaient *hubris*, la démesure, porteuse de zombification : en vouloir toujours plus. Même la domestication peut conduire à la démesure. Une plante cultivée en présence d'engrais azotés – utilisant du pétrole – issus du procédé Haber-Bosch, de potasse et de phosphates issus de mines à durée de vie limitée, sera sélectionnée pour sa capacité à utiliser au mieux ce surplus zombie ; la zombité s'élève

avec son effet d'aspiration. En revanche, améliorer une plante pour ses capacités de fixation d'azote, dans un système contrôlé, resté vivant pourrait être une réponse.

La domestication animale qui a permis d'utiliser des surfaces non cultivables a été modifiée et zombifiée depuis la grande accélération. Aujourd'hui on élève un milliard et demi de bovins, davantage d'ovins et caprins, un milliard de porcs, plus de cent millions de chevaux, plus d'un milliard d'animaux de compagnie (chiens, chats, etc.) et plus de 15 milliards d'oiseaux (poule, canard, dinde, pintade, oie, etc.). Les populations sauvages équivalentes sont toujours de l'ordre de 100 à 10 000 fois moins nombreuses.

Harchaoui & Chatzimpiros (2018) montrent que la transition agricole française a fait passer la France d'un régime agro-alimentaire-énergétique d'autosuffisance à un régime d'exportation alimentaire dépendant des énergies fossiles, signe de zombification. Dans les conditions techniques actuelles, l'autosuffisance agricole est un atout face aux contraintes des combustibles fossiles, à la volatilité des prix et aux émissions de gaz à effet de serre. Elle pourrait entraîner une baisse du surplus agricole pour soutenir l'urbanisation, toutes choses égales par ailleurs. Ce qui conduit à une question : une grande ville serait-elle, de principe, zombie ?

12] Dézombifier l'agriculture

L'agriculture est historiquement le modèle d'une technique vivante, mais elle se trouve zombifiée par des pratiques issues de l'industrie moderne. Comment imaginer les processus qui mènent à sa dézombification ou encore sa revitalisation. Sa zombification est venue en partie d'une volonté de rendement (par hectare) et de productivité (par actif agricole) à outrance (d'où le qualificatif d'agriculture productiviste) en imaginant transformer l'exploitation agricole en une sorte d'usine à ciel ouvert. De fait la production agricole a réussi à suivre à la fois la croissance démographique, les exigences nutritionnelles et la volonté de sécurité alimentaire, mais à quel prix ?

Revenir à une agriculture « vivante » va demander une transformation profonde, car peu de doutes subsistent quant à l'implication dans cette zombification des industries chimiques, mécaniques et agroalimentaires, associée à un marketing des produits agricoles

dissocié de la réalité de la production pour produire à bas prix tout en maximisant les marges des industries.

Deux écueils majeurs apparaissent pour la mise en place de cette revitalisation. D'un côté ne réfléchir qu'au stockage de CO₂ dans les sols en valorisant les rendements maximums. En effet, ce stockage, par le développement racinaire, sera accru par l'apport d'engrais azotés issu de la consommation de pétrole..., ce qui a un aspect «shadok» : on produit artificiellement du CO₂ par la production d'engrais, pour l'enfourir dans le sol par l'intermédiaire des plantes. Le principe shadock est bien celui de la Zobéité s'auto-entretenant, jusqu'à la «chute finale». De l'autre côté, ne penser qu'à limiter les intrants chimiques sans repenser tout le système de production, selon la logique actuelle de l'agriculture biologique, implique d'obtenir autrement de la biomasse. Ces amendements sont donc importés à partir de productions zombifiées. Cette nécessité dévoile le même côté «shadok» de l'agriculture biologique consommatrice exigeante des matières organiques issues de l'agriculture dite «conventionnelle». Comment sortir de cette dichotomie qui ressemble à choisir entre Charybde et Scylla ou entre la peste et le choléra ? Peut-on imaginer une agriculture n'ayant plus besoin d'intrants issus des énergies fossiles, stockant du carbone dans les sols, minimisant les besoins mécaniques et restant productive ? Cette agriculture serait autonome énergétiquement parlant, adaptée au contexte pédoclimatique, et produirait de manière durable une alimentation adaptée aux besoins nutritionnels des populations. Outre les deux écueils décrits ci-dessus, il reste des obstacles majeurs : i) certains pays ne sont pas autonomes alimentaires parlant, ce qui implique des transports importants de produits de base ; ii) on ne peut pas tout produire partout, les différentes productions agricoles exigent des conditions pédoclimatiques spécifiques, ce qui implique là aussi des transports de produits sur des distances importantes ; iii) l'extrême concentration citadine des populations conduit à des transports sur des longues distances ; iv) l'activité agricole attire peu pour différentes raisons dont la pénibilité du travail et les coûts de la main-d'œuvre ; v) Le changement climatique semble inéluctable, à cause de son inertie. La question agricole n'est jamais isolée du système technique global. Il convient donc de revoir les questions de transport et de logistique, qu'il convient de dézombifier. C'est là encore

une gageure technique car comment promouvoir des transports lents, longs et intermittents de produits frais ?

Les problèmes techniques sont donc nombreux. Étudions d'abord la sortie des écueils précités. Il existe une voie extrêmement technique, initiée historiquement par des agriculteurs, mais dont la première tentative théorique a été exposée durant les années 1920 par Basil Bensing, agronome russe ayant fait ses études aux États-Unis (Pimbert *et al.* 2021). Bensing cherche à appliquer les connaissances écologiques à l'agronomie, d'où le terme d'agroécologie. Ces premiers travaux sont complétés par un chercheur chilien (Altieri 1989), qui reprend le terme d'agroécologie et construit ses bases théoriques et pratiques.

Le principe de base de cette approche est fondé sur le fait que le sol est le support vivant de l'agriculture. Il doit être à la fois protégé et revitalisé. La variété des productions, tant en termes d'assolement qu'en termes de rotations, doit répondre à la maintenance de la fertilité des sols, tout en minimisant les intrants. Le terme d'agroécologie est alors employé dans le monde de la recherche. Le rapprochement des deux termes ne va pas de soi, car l'écologie étudie les milieux où vivent les êtres vivants, ainsi que des rapports de ces êtres avec leurs milieux, tandis que l'agronomie étudie les processus agricoles qui ont pour but de produire. Elsa Berthet (2014) montre que l'approche agroécologique pose des problèmes conceptuels : un écosystème ne « produit » pas, il est composé de vivants en interaction. Produire implique de dégager un surplus qui sera exporté de cet écosystème en fonction des besoins des milieux humanisés. L'écologie est sollicitée pour son apport dans une approche très technique : comment utiliser les fonctionnalités écologiques en les déplaçant vers la production ?

Les civilisations, on le sait, ont toujours dépendu du climat (Boqueho 2012, Le Treut 2022). Aujourd'hui, en France, moins de 5000 agriculteurs, dont un bon millier en est le « fer de lance », se sont lancés dans la pratique agroécologique au point de prendre de l'avance sur la recherche agronomique, tout au moins dans un pays comme la France (Dubois 2019). La première règle est que, autant qu'il est possible, le sol agricole doit être toujours couvert de végétal vivant ce qui conduit à une vie intense du sol qui devient un véritable écosystème. Cela implique un choix de mélange d'espèces/

variétés, dont certaines sont des légumineuses, lequel dépend des conditions pédoclimatiques. Le changement climatique impose des choix qui peuvent conduire à des espèces considérées comme exotiques dans le lieu de culture. Mais toutes les espèces cultivées ont déjà ce statut. L'agriculteur arrête, autant que possible, le moindre labour et accompagne la vie qui se développe sur ses parcelles. Le semis destiné à la production a donc lieu dans du couvert végétal qui n'empêchera pas les semences de germer, ce qui impose des semoirs nouveaux. Cela conduit, de fait, à des intercultures par rapport à ce qui est cultivé pour la production principale et à des mélanges d'espèces productrices. En conséquence, s'imposent des outils de récolte spécifique, permettant des tris de ce qui est récolté ou des doubles récoltes. Les rotations annuelles deviennent plus complexes, plus longues, et incluent des légumineuses. Les assolements dans une même exploitation, sur une année, sont donc également complexes. La succession des cultures est une décision, après chaque récolte, est non un automatisme. Il est possible alors de produire davantage de biomasse avec un niveau d'apport d'engrais et de phytosanitaires très bas. Les complémentarités fonctionnelles diminuent le développement de maladies toujours favorisées par l'homogénéité des productions. L'azote est apporté par les légumineuses, le phosphate et les autres sels minéraux remontent de la roche mère ou sont recyclés à partir d'autres productions. Le problème devient la commercialisation de toutes ces productions et la nécessité de maîtriser le stockage sur place.

Les agriculteurs qui s'engagent dans cette voie doivent consacrer une part de leur surface à des essais et, globalement, passent moins de temps sur le tracteur et plus de temps à observer et réfléchir. L'agriculteur devient un chercheur-innovateur-entrepreneur. Il est beaucoup moins sur son tracteur mais réfléchit sans cesse. Ce modèle de technique agricole conjugue nombre des valeurs qui caractérisent une conception pour et par les milieux : nous y retrouvons aussi bien l'exigence de dézombification que l'intérêt pour la technodiversité qui lui est directement associée, mais aussi les logiques de déprolétarianisation puisque la conservation des sols exige de nouveaux savoirs pour répondre à la complexité nouvelle des pratiques, ainsi que la perspective d'un soin constant apporté aux techniques et aux milieux.

Il ne faut pas sous-estimer la difficulté d'une telle agriculture qui exige de l'agriculteur de multiples compétences, dont celle d'anticiper, de réfléchir à partir de phénomènes nouveaux imprévisibles, de s'adapter à des situations changeantes, de soigner son sol, devenu une technique vivante, et donc de l'observer et l'évaluer, de prendre des décisions. L'expérience montre que, moyennant quelques exceptions conjoncturelles dans les règles fondamentales, cette agriculture peut s'adapter à toute forme de production (Caquet *et al.* 2019).

Elle demande des partages d'expérience entre agriculteurs et des communautés de chercheurs impliqués. On comprend pourquoi il n'existe que quelques milliers d'agriculteurs, en France, engagés dans cette voie qui sort des choix historiques d'agriculture simplifiée et zombifiée, quasi industrielle. Les agriculteurs engagés dans cette voie consomment de moins en moins d'intrants, ont leurs charges largement diminuées, et arrivent à dégager des marges supérieures. Leurs tracteurs sont moins puissants, moins utilisés, ils ne surinvestissent pas. Ils ne se plaignent que des lourdeurs administratives inadaptées à leur situation spécifique, d'un manque d'intérêt des chercheurs, sauf quelques-uns, y compris des chercheurs en génétique. Agroécologie, agriculture de conservation des sols, agriculture régénératrice, agriculture du vivant, agriculture respectueuse de l'environnement; la multiplicité des termes, toujours en référence au vivant montre la complexité de l'approche dézombifiante. De nombreux experts se posent la question: « Est-ce que l'agroécologie va répondre aux attentes sociétales, aux attentes économiques et environnementales? » Lors de l'achat d'un smartphone, demandez-vous au vendeur: « Est-ce que je pourrai téléphoner avec ça. » La réponse est: « Faites-le. » Une dézombification agricole se définit à la fois par la conception, l'anticipation, la réflexivité et l'action.

13] Conclusion

La véritable « transition » d'une baisse volontaire de la zombéité des techniques agricoles mobilisera donc une transformation conceptuelle, scientifique et technique. Il faudra concevoir des techniques toujours plus proches du vivant, mais il faudra aussi qu'elles ne dépassent pas une certaine quantité, que leur durée d'usage soit considérablement accrue et leur recyclage réalisé à faible puissance énergétique. La proximité avec le vivant devrait inclure des

connexions avec les cycles biogéochimiques qui ne provoquent pas une réduction de l'habitabilité de la Terre pour l'humanité et le vivant.

Est-ce que cela entrainerait, même partiellement, une domestication de la biosphère? La constitutivité des techniques, même vivantes, pourrait changer notre conception du vivant: un vivant régulé, pas à pas, par des régulations humaines.

Pour rendre vivantes des techniques originellement zombies, il faudra concevoir et réaliser des fonctionnements à bas niveau énergétique. En ce début de la phase transitoire, la recherche scientifique devrait être accrue et conduire à étudier au cas par cas comment faire baisser les niveaux de puissance pour atteindre un niveau compatible avec le vivant. Le ralentissement semble, à ce jour, être une condition *sine qua non* pour réinventer un régime de techniques à soutenabilité forte. Une collaboration étroite entre recherche, développement et pratique technique de terrain est nécessaire.

Le développement des énergies dites renouvelables actuelles (éolien, photovoltaïque) doit être compris comme une phase transitoire, dans le cadre des techniques actuelles. Leur durabilité sera d'autant plus faible que les installations se multiplient dans les conditions techniques actuelles. Pour une durabilité longue, seules des recherches scientifiques ayant pour but des énergies vivantes, semblent répondre à une durabilité forte (plusieurs siècles), dans les conditions démographiques actuelles.

On peut élargir la maxime énoncée au chapitre 4 :

Conçois une nouvelle technique de telle sorte que sa zombéité soit inférieure à ce qu'elle remplace, c'est-à-dire :

- elle se rapproche d'une technique vivante, à faible consommation de ressources en matière et en puissance (énergie);
- elle tend vers le niveau de puissance énergétique de l'irradiation solaire par m² pour l'espace d'utilisation considéré; ce qui exige de calculer l'espace réel utilisé (vraie ACV);
- elle est régulée quantitativement non par les besoins affichés, mais par les ressources correspondant à ce flux solaire;
- elle utilise moins de minéraux qui eux-mêmes sont recyclés à très bas coût énergétique (référence à l'irradiance solaire par m²).

Pour aller plus loin

SMIL Vaclav (2007), *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*, MIT Press.

Une approche pédagogique, systématique, analytiquement unifiée et interdisciplinaire de l'énergie dans la nature et la société, du rayonnement solaire et de la photosynthèse à notre civilisation alimentée par les combustibles fossiles et ses conséquences environnementales. Smil utilise des unités de mesure unificatrices fondamentales (densité de puissance et intensité énergétique) pour fournir un cadre intégré d'étude des flux d'énergie et de leurs transformations. Le livre explore l'énergie planétaire (rayonnement solaire et processus géomorphiques), la bioénergie (photosynthèse, etc.), l'énergie humaine (métabolisme et thermorégulation), des sociétés de chasseurs-cueilleurs aux agriculteurs et aux sociétés industrielles modernes. Smil met l'accent sur les complexités, les particularités du monde réel et les résultats souvent contre-intuitifs de ses processus, plutôt que sur des modèles abstraits. *Energy in Nature and Society* fournit une analyse et des références, en un seul volume sur toutes les questions énergétiques importantes, des flux d'énergie naturelle aux flux d'énergie industriels, des carburants à l'alimentation, de la formation de la Terre aux futurs énergétiques possibles. Il peut être utile pour les enseignants d'études énergétiques, d'écologie globale, de science des systèmes terrestres, de biologie et de chimie.

ODUM Eugen & BARRETT Gary (1971), *Fundamentals of Ecology*, Saunders.

La troisième édition d'une somme écologique impressionnante. Pour ceux qui veulent comprendre à fond la science écologique.

SELOSSE Marc-André (2017), *Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*, Actes Sud.

Pour ceux qui l'ignorent, ils y apprendront que tous les organismes vivants, végétaux ou animaux, dépendent intimement de microbes qui contribuent à leur nutrition, leur développement, leur immunité ou même leur comportement. Toujours pris dans un réseau d'interactions microbiennes, ces organismes ne sont donc... jamais seuls. On y découvre le rôle des symbioses microbiennes au niveau des écosystèmes, de l'évolution de la vie, et des pratiques culturelles et alimentaires qui ont forgé les civilisations. Cet ouvrage est une mine d'informations pour ceux qui réfléchissent à développer de nouvelles techniques vivantes !

SELOSSE Marc-André (2021), *L'Origine du monde. Une histoire naturelle du sol à l'intention de ceux qui le piétinent*, Actes Sud.

Un livre qui questionne le concept de biodiversité. Le sol représente 25 % des espèces connues. Il est habité par des animaux, des champi-

gnons et des microbes qui vivent et se nourrissent de façons variées. Cette diversité assure le fonctionnement des écosystèmes terrestres et permet une large gamme de possibles. Le sol participe à la fertilité des océans, régule le cours des rivières et ainsi modifie le climat. Le lecteur découvre la partie souterraine et méconnue des plantes. Il peut imaginer les gestes et techniques grâce auxquels nous transmettrons des sols durablement fertiles aux générations futures⁶.

Bibliographie

- ARNOUX Mathieu (2012), *Le Temps des laboureurs. Travail, ordre social et croissance en Europe (X^e-XIV^e siècle)*, Albin Michel.
- ARNOUX Mathieu (2023), *Un monde sans ressources. Besoin et société en Europe (X^e-XIV^e siècle)*, Albin Michel.
- ALTIERI Miguel (1989), "Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27(1-4), p. 37-46.
- BERTHET Elsa (2014), *Concevoir l'écosystème, un nouveau défi pour l'agriculture*, Presses des Mines.
- BOUDAUD Aurélien & GONDRAN Natacha (2018), *L'Empreinte écologique*, La Découverte.
- BOQUEHO Vincent (2012), *Les Civilisations à l'épreuve du climat*, Dunod.
- BOWYER Jim (1995), "Wood and other raw materials for the 21st century", *Forest Products Journal*, 45(2), p. 17.
- BRECHIN Gay (1999), *Imperial San Francisco: Urban Power, Earthly Ruin*, University of California Press.
- BRECHIN Gray (2006), *Imperial San Francisco: Urban Power, Earthly Ruin*, University of California Press.
- CAQUET Thierry *et al.* (2019), «Réflexion prospective interdisciplinaire pour l'agroécologie.» Rapport de synthèse. 108 p. DOI.10.15454/heimwa. hal-02154433.
- DOCKÈS Emmanuel (2017), *Voyage en mysarchie*, Éditions du retour.
- DUBOIS Michel J. F. (2016), *Vivre dans un monde sans croissance. Quelle transition énergétique?*, DDB.
- DUBOIS Michel J. F. (2019), «La dynamique instituante des agricultures», *Nouvelle revue de psychosociologie*, 28(2), p. 97-110.
- DUBOIS Michel J. F. (2021), «La domestication. Technique, domestication et transformation de la biosphère», *Cahiers COSTECH*, n° 4, article 114.

[6] *Ndé*: permettons-nous de signaler cet ouvrage de 2018, l'un des rares en son temps, à montrer l'importance de la biodiversité, notamment des sols : Laurent Palka (dir.), *Microbiodiversité. Un nouveau regard*, Editions Matériologiques.

- DUBOIS Michel J. F. (2023), «Face aux sciences de la matière, du vivant et à l'anthropologie, quelles questions poser aux psychologues?», *Journal des psychologues*, 403, p. 24-29.
- DUBOIS Michel J. F. & SAUVÉE Loïc (dir.) (2016), *Évolution agrotechnique contemporaine: les transformations de la culture technique agricole*, Presse de l'UTBM.
- GREAVES Hillary & MACASKILL William (2019), "The case for strong long-termism", *GPI Working Snyder-Beattie A.E., Orb T. Bonsall M.B. An upper bound for the background rate of human extinction, Science report*, 9: 11054.
- HABERL Helmut *et al.* (2007), "Human appropriation of net primary production (HANPP)", *International Society for Ecological Economics, Internet Encyclopedia of Ecological Economics*.
- HALLOY José & NOVA Nicolas, «Au-delà du low tech: technologies zombies, soutenabilité et inventions», *Low tech: face au tout-numérique, se réappropriier les technologies*, Ritimo, 2020, p. 120-128.
- KAI Bona Solomon *et al.* (2021), "The Concept of Planetary Boundaries for Sustainable Development: A Review", *Journal of Law, Policy and Globalization*.
- KARSENTI Bruno (1998), «Techniques du corps et normes sociales: De Mauss à Leroi-Gourhan», *Intellectica*, 26(1), p. 227-239.
- LE TREUT Hervé (2022), *Climat et civilisation, un défi incontournable*, Érès.
- LI MO *et al.* (2021), "The role of planetary boundaries in assessing absolute environmental sustainability across scales", *Environment International*, 152, p. 106475.
- LIARD Florence (2010), «Le cuivre chypriote et la Crète: Les régions d'importation des lingots peau-de-bœuf», *Revue archéologique*, 49(1), 47.
- MALAUURIE Jean (1989), *Les Derniers rois de Thulé. Avec les esquimaux polaires, face à leur destin*, Plon.
- MAUSS Marcel (1973), "Techniques of the Body", *Economy and Society* 2(1), p. 70-88.
- MERSHIN Andreas *et al.* (2012), "Self-Assembled Photosystem-I Biophotovoltaics on Nanostructured TiO₂ and ZnO", *Scientific Reports* 2(1).
- PIMBERT Michel *et al.* (2021), "Agroecology", in *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*.
- PAULY Daniel (1995), "Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 10, no 10, p. 430.
- POMERANZ Kenneth (2000), *The Great Divergence, China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*, Princeton University Press, trad. fr. *Une grande divergence. La Chine, l'Europe et la construction de l'économie mondiale*, Albin Michel, 2010.

- RADETZKI Marian (2009), “Seven thousand years in the service of humanity—The history of copper, the red metal”, *Resources Policy*, 34(4), p. 176-184.
- STEFFEN Will *et al.* (2015), “The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration”, *The Anthropocene Review*, 2(1), p. 81-98.
- SUNGMIN Hong *et al.* (1996), “History of ancient copper smelting pollution during roman and medieval time recorded in Greenland ice”, *Science*, vol. 272, p. 246-249.

La technodiversité en question

Pauline Picot & Victor Petit

Nous nous proposons ici de réfléchir à la conception orientée milieu en nous focalisant sur un nouveau concept, celui de technodiversité. Le concept de milieu, rappelons-le, est un très mauvais substantif: c'est un terme essentiellement relatif puisqu'un milieu en soi n'existe pas, puisqu'un milieu ne préexiste pas aux relations qui le constituent (cf. chapitre 2). Aussi le terme de «milieu» se conjugue généralement au pluriel («milieux»), et ce pluriel indique déjà la voie de la diversité: diversité des milieux biologiques indissociable de la diversité des formes de vie, ou diversité de milieux culturels indissociable de la diversité des milieux techniques, comme on le montrera.

Depuis le XIX^e siècle, il est non seulement courant de penser que le progrès technologique est le moteur du progrès tout court, mais aussi que ce progrès technologique ne peut avoir qu'une direction qui nous conduirait mécaniquement vers le mieux. Dans ce chapitre, nous nommerons «*one best way*», cette croyance en une détermination scientifique possible d'une meilleure solution qu'il s'agirait ensuite de déployer, ce déploiement s'appuyant sur la scalabilité (déploiement à grande échelle) et la standardisation (répétition systématique du *one best way*).

Face à ceux qui n'ont d'autres critères que la taille ou la *quantité* pour juger du progrès, face à ceux donc qui succombent à l'*hubris* (la démesure) de la croissance, nous devons désormais assumer la *qualité* (de nos techniques) et sa mesure première qu'est la diversité (des milieux). La qualité se mesure mal, et nous ne prétendons pas

ici, à travers le terme de diversité, en donner une mesure, mais seulement une appréciation. L'ingénieur oublie un peu trop souvent que la mesure a une histoire et que cette histoire est faite de conflits, de controverses, d'autorités politiques¹ (cf. **chapitre 10**).

L'idée de diversité des milieux devient subversive lorsqu'on comprend à quel point la *chose* est réellement menacée : ce n'est pas seulement la biodiversité qui se meurt dans l'Anthropocène, mais la technodiversité et la noodiversité² (intellectuelle et cognitive).

Le concept de technodiversité, comme celui de biodiversité, est un concept normatif, en ce sens qu'il contient un jugement de valeur. Certes toute diversité n'est pas louable, de même que toute scalabilité n'est pas condamnable, mais il n'en est pas moins certain que la diversité technologique est menacée, comme il est certain aussi que la question de la préservation de la «biodiversité» n'est pas séparable de la préservation de la «technodiversité». Opposer la «biosphère» et la «technosphère» est un non-sens, car l'industrie ou la technologie concerne aussi bien le vivant que la matière (Russel 2004). Dans la perspective de la planéarité (cf. **chapitre 4**), les deux se coconditionnent.

Ce chapitre se structure en quatre parties. La première traite des ennemis de la technodiversité, à savoir de l'idéologie du *one best way*, déclinée en trois figures : le taylorisme et l'optimisation, la scalabilité, le haut-modernisme. La seconde partie revient sur les leçons à tirer de deux études de cas de *one best way* défaillant : le déploiement du riz optimisé IR-8 dans la révolution verte en Indonésie, qui illustre les difficultés de la scalabilité, et la «guerre des écartements» en Angleterre au XIX^e siècle qui voit s'opposer plusieurs standards pour l'écartement des rails et révèle la manière dont la diversité résiste. La troisième partie cherche à penser positivement la «technodiversité» en revenant au modèle de la «biodiversité». Elle montre que l'optimisation ne fait pas sens en biologie, que la critique de la maximisation adaptative est essentielle au raisonnement biologique darwinien comme au raisonnement technologique. La quatrième et dernière partie s'intéresse à la tension entre exigence

[1] Sur la «révolution métrique», on pourra se reporter au classique du médiéviste Witold Kula (1984). Sur la dimension sociale de la mesure, on pourra lire, par exemple, Schaffer (2015).

[2] Selon le terme introduit par Bernard Stiegler (cf. Stiegler & Ross 2020).

de standardisation et technodiversité. Contrairement à l'idée reçue, la standardisation n'implique pas l'uniformisation ; au contraire, le standard peut préserver, organiser, supporter la technodiversité.

1] Les ennemis de la diversité

L'optimisation est l'une des pièces essentielles de l'identité professionnelle de l'ingénieur. Elle est au cœur des méthodes d'aides à la décision développées par le florissant champ de la recherche opérationnelle. Il s'agit donc d'une approche rationnelle, scientifique des problèmes visant à déterminer les meilleures conditions de fonctionnement pour faire au plus avec le moins (moins de gaspillage, moins de coûts). « Optimiser, c'est améliorer » statue dès la première ligne un manuel dédié à l'optimisation (Kessentini & Barchiesi 2020, p. 3). Si bien que dans le langage courant, "optimiser" semble devenir synonyme d'améliorer ! Comment donc l'optimisation pourrait-elle être critiquable ? Notre problème ici est que l'optimisation semble s'opposer par principe à la diversité : une démarche d'optimisation vise à déterminer la meilleure solution à un problème donné. S'il n'y a qu'une solution possible, l'optimisation ne risque-t-elle pas de se confondre avec la destruction d'une diversité bénéfique ?

L'optimisation est à la fois un raisonnement technologique et axiologique, c'est-à-dire qu'elle tend à devenir une valeur en soi (optimiser, c'est bien). De façon formelle, l'optimisation désigne une branche des mathématiques qui cherche à déterminer la meilleure solution à un problème donné. Dans sa dimension technologique, l'optimisation suppose une rationalisation par les mathématiques d'une situation donnée (en termes de variables de décisions et de contraintes à satisfaire) et la définition *a priori* d'un unique objectif, la fonction objectif en termes mathématiques, qu'il s'agira de minimiser (Kessentini & Barchiesi 2020). Dans le cas d'un problème de maximisation, la première étape sera de le transformer en une minimisation. Ainsi la maximisation d'un rendement revient à la minimisation des pertes d'énergie. L'optimisation doit donc permettre d'identifier une unique solution : celle pour qui la fonction objectif est à son minimum dans la limite des contraintes posées³.

[3] Nous n'oublions pas qu'il existe l'optimisation multicritère à laquelle on a recours quand une unique fonction-objectif ne peut être définie. Les

Dans sa dimension axiologique, l'optimisation relève d'un « *one best way* » dans la mesure où elle admet qu'une solution unique existe et suppose que celle-ci est la *meilleure* solution au problème.

Il est indispensable de prendre la mesure de la prégnance de cet idéal si puissant pour avoir une chance de s'en défaire, de l'amender ou de considérer d'autres voies. Nous commençons par passer en revue quelques grandes figures historiques de ce « *one best way* » et de la recherche d'un optimum contre la technodiversité : le taylorisme, la scalabilité, la planification.

1.1] Taylorisme et *one best way*

L'expression d'« ingénierie sociale » fait ressortir des pans entiers de l'histoire de la technologie (Zwer 2018). Elle a pu prendre pour nom « taylorisme ». L'ingénieur américain Frederick Winslow Taylor (1856-1915) est un des rares noms propres à être devenu un nom commun. Il a donné naissance, à partir des années 1880, à une forme d'organisation scientifique du travail (OST) dont la méthode est résumée dans *The Principles of Scientific Management* (1911). Tout est soumis à la maximisation d'un seul critère : le rendement⁴. La méthode repose sur une analyse détaillée et rigoureuse des modes et techniques de production (gestes, rythmes, cadences, etc.). Elle établit ainsi la « meilleure façon » de produire (définition, délimitation et séquençage des tâches). Évidemment, la meilleure façon devient vite la seule acceptable. Et le « *Scientific Management* » désigne alors une gestion optimale et donc non négociable : the *one best way*.

méthodes de celle-ci consistent, soit, à se ramener à un problème mono-objectif par pondération des différents critères, soit, à déterminer un ensemble de solutions incomparables analytiquement les unes avec les autres. Ce second cas de figure invite à prendre ses distances vis-à-vis d'une axiologie « *one best way* » mais partage néanmoins les présupposés épistémologiques de l'optimisation monocritère. Pour cette raison, même si nous nous concentrerons ici sur l'optimisation dans son sens classique (donc monocritère), notre argumentation trouvera sa pertinence dans une critique de l'optimisation multicritère.

[4] Notons que c'est Ford qui adosse la recherche d'efficacité à un objectif *in fine* économique : les gains d'efficacité devant permettre une réduction des coûts.

Si elle est dite « scientifique », c'est d'abord en ce sens qu'elle éviterait de perdre du temps avec le « politique ». Pourtant, la conséquence du taylorisme, comme l'affirmait hier le sociologue du travail Georges Friedmann (1964) ou aujourd'hui Yves Clot (2021), est de séparer l'acteur de l'activité, afin de rendre le premier substituable. Comme le remarquait déjà Gramsci (1948), cette rationalisation scientifique du travail excède le travail, et prétend tout contrôler puisque son but est de créer un homme nouveau, optimalement employable par le capitalisme. Le taylorisme met en œuvre une double division sociotechnique du travail : l'une horizontale, fondée sur la parcellisation maximale des tâches, l'autre verticale, fondée sur une séparation stricte entre le travail de conception et le travail d'exécution. Ainsi, le taylorisme n'est pas seulement une stratégie de production, c'est une stratégie de contrôle et d'appropriation. Comme l'explique Taylor lui-même :

Dans le cadre d'une gestion scientifique [...], les managers assument la charge de rassembler tout le savoir traditionnel qui, par le passé, était en possession des travailleurs, puis de classer, tabuler et réduire ce savoir en règles, lois, formules. [...] Ainsi, toute la planification qui, dans l'ancien système, était laissée au soin des travailleurs, doit nécessairement, dans le nouveau, être prise en charge par la direction conformément aux lois de la science (Taylor cité par Marglin 1990, p. 220).

Le propos de ce texte est limpide : il s'agit de retirer tout savoir à l'ouvrier pour transformer celui-ci en machine qui se comporte « conformément aux lois de la science ». De tels propos sont non seulement inquiétants politiquement, mais faux technologiquement : le stage ouvrier, obligatoire en école d'ingénieur, donne la chance de se rendre compte qu'il existe un savoir-faire ouvrier qui n'est pas reproductible et formalisable, et qui n'en est pas moins nécessaire au bon fonctionnement de la production⁵. La sociologue Alexandra Bidet (2010) a montré combien l'idée même de « vrai boulot » pouvait

[5] En conformité avec la thèse de sociologie de Ken Kusterer (1978). Pour une étude, plus contemporaine et nuancée, sur les usines Renault, qui montre notamment la persistance du modèle tayloriste dans le management actuel, et les résistances, aujourd'hui comme hier, de l'atelier, on pourra se reporter au travail du sociologue Gwenaële Rot (2006).

être éloignée du travail formellement prescrit, en s'intéressant à un groupe de techniciens (en informatique). Elle souligne l'hétérogénéité de leurs manières de s'engager dans l'activité et de se relier au milieu. Non seulement cette hétérogénéité n'est pas incompatible avec le «bon boulot», mais elle est écrasée par la perspective taylorienne.

Il ne s'agit pas seulement de dire que le taylorisme se fait au détriment du travailleur, il s'agit d'affirmer que même du point de vue de la productivité, il y a d'autres manières de faire tout aussi efficaces. L'exemple des «grèves du zèle» qui consistent à suivre à la lettre les directives managériales montre l'écart entre le «bon boulot» et le travail prescrit. Suivre à la lettre les directives peut créer des ralentissements et des désordres⁶. Par ailleurs, il serait faux de croire que le «management scientifique» implique nécessairement la meilleure technologie possible. Par exemple, David Noble (1984) a prouvé que, dans le domaine des machines-outils automatiques, ce n'est pas le critère de l'efficacité qui a primé dans le choix de la technologie à développer mais la recherche de contrôle sur les travailleurs : la machine à contrôle numérique avait notamment pour sérieuse rivale la machine à «*record-playback*», qui avait pour elle une plus grande flexibilité et une plus grande simplicité. Tandis que la première suppose un travail de programmation de la part de l'ingénieur, des managers et entend évacuer tout travail du machiniste, la seconde suppose un enregistrement des mouvements que le machiniste va effectuer sur la machine et que celle-ci pourra répéter en boucle. Dans cette seconde option, le cœur du savoir-faire reste du côté des machinistes : d'eux, de leurs gestes, dépend la production. La machine à contrôle numérique a donc été choisie moins pour des raisons d'efficacité que pour transférer le pouvoir des ouvriers qualifiés aux employés en col blanc.

L'idéologie propre au taylorisme fut largement partagée bien au-delà du modèle d'origine. Le Kaiser Wilhelm Institut für

[6] Par exemple, à l'approche du Brexit, les douaniers français ont entamé une grève du zèle pour réclamer de plus larges moyens : en appliquant scrupuleusement les procédures de contrôle qui découlent du rétablissement de la frontière britannique, ils ont créé de forts ralentissements du trafic, le but étant de montrer la contradiction entre les procédures et l'ordre de fluidifier le trafic (*Le Monde* avec AFP, 2019).

Arbeitsphysiologie fut, à l'instar du taylorisme, fondé sur le dessein de rationaliser le corps humain (Yanorella & Reid 1996). Le taylorisme et la technocratie firent système à partir des années 1920 (Maier 1970). Mais cette foi dans le productivisme scientifique et technique, supposé résoudre les conflits sociaux par la science et la technique, était selon les mots de Rabinbach, «politiquement confuse», pouvant «conduire aussi bien à une solution libérale que socialiste, autoritaire et même fasciste ou communiste»⁷. On sait que Lénine fut en effet un grand partisan du taylorisme, et le soviétisme reposait lui aussi sur le pari d'immenses fermes mécanisées et industrielles. La ferme Thomas Campbell dans le Montana fut un exemple de standardisation, celui-ci ayant proclamé qu'une exploitation agricole relevait à 90 % de l'ingénierie et seulement à 10 % de l'agriculture⁸ (Fitzgerald 2003).

Le taylorisme ne semble aujourd'hui qu'une étape dans le processus d'automatisation généralisée du travail et des loisirs ; une étape qui accéléra indubitablement ce que le philosophe Bernard Stiegler a appelé une «prolétarianisation», c'est-à-dire une perte de savoir-faire (et de savoir-vivre). La formule «*one best way*»⁹ est restée¹⁰, et ses

[7] «“Le taylorisme et la technocratie” étaient les mots-clés d'un idéalisme à trois branches : élimination de la crise économique et sociale ; expansion de la productivité grâce à la science ; réenchantement de la technologie. La vision de la société où les conflits sociaux seraient remplacés par des impératifs technologiques et scientifiques pouvait conduire aussi bien à une solution libérale que socialiste, autoritaire et même fasciste ou communiste. Bref, le productivisme était politiquement confus» (Rabinbach 2004, p. 436).

[8] Un article du *The New York Times* (12 sept. 1926) illustre le passage de la ferme à l'exploitation. Son titre dit : «La plus grande ferme de blé comme une grande usine. Thomas D. Campbell, du Montana, utilise des machines pour obtenir une production de masse. [...] Il trouve de nouvelles façons de cultiver et de réduire les coûts [...]. Un facteur de réussite, la loyauté des cadres et des ouvriers.»

[9] Sur cette notion comme sur d'autres notions stiegleriennes, on pourra se reporter au vocabulaire d'Ars Industrialis, par Victor Petit, consultable en ligne (<https://arsindustrialis.org/vocabulaire>), et reproduit à la suite de Bernard Stiegler (2013).

[10] Pour une critique de son déploiement dans l'idéologie managériale, cf. Robert Kanigel (2022).

dégâts continuent à se faire sentir. Le «*one best way*» renvoie à une approche technologique (par son caractère rationnel, voir «scientifique») de tout problème (de la productivité industrielle aux conflits sociaux). Le *one best way* participe donc du *technosolutionnisme* ambiant, et peut faire l'objet des mêmes critiques (encadré 1).

Encadré 1. Le technosolutionnisme

On connaît les mots fameux de l'architecte Cédric Price (1934-2003): «*Technology is the answer, but what was the question?*» (Price, 1966). Le technosolutionnisme ou solutionnisme technologique («*technological fix*» en anglais) est donc le fait d'oublier la question, ou plus précisément c'est le fait de présupposer qu'une solution technologique peut exister pour résoudre tout type de problème. Il relève donc d'une posture techno-optimiste, voire technoprophétique.

Si le mot «technosolutionnisme» est récent, son succès faisant probablement suite à Evgeny Morozov (2014) insistant sur l'aberration du solutionnisme numérique propre au GAFAM, sa critique ne l'est pas. Toute la tradition technocritique avait déjà identifié le problème, et depuis les années 1960-1970 on peut dire que la pensée écologique est divisée entre le technosolutionnisme (de Buckminster Fuller par exemple) et la technocritique (d'Ivan Illich par exemple).

Michael et Joyce Huesemann (2011) décrivent le technosolutionnisme à travers trois formes ou types de «solutions» technologiques: les «contre-technologies» designées pour réparer les problèmes causés par des technologies antérieures, par des conséquences inattendues de celles-ci; les «*social fixes*» désignent des technologies censées répondre à des problèmes sociaux, économiques, politiques ou culturelles; les optimisations, ou améliorations du ratio entre le bénéfice créé et la quantité de ressources consommée. Mais une posture technosolutionniste s'appuie souvent sur une situation vue par le petit bout de la lorgnette. Le technosolutionnisme est même défini par Morozov comme le fait d'apporter une solution technologique à un problème qui, au mieux, est mal posé ou, au pire, n'existe tout simplement pas. En somme, le technosolutionnisme pose la solution avant le problème (si le marteau est la solution, alors tous les problèmes sont des clous...). Pour l'illustrer, revenons aux trois formes de technosolutionnisme:

Les «contre-technologies» veulent réparer les problèmes causés par des technologies antérieures... en supposant donc que ces

nouvelles technologies ne causent pas à leur tour des problèmes imprévus ! Le caractère imprédictible de l'action technologique (cf. **chapitres 2 et 5**) est donc nié et il est supposé que la technologie est à elle-même son propre remède. L'exemple le plus marquant est sans doute celui de la géo-ingénierie : pour « régler » le « dérèglement » climatique, il faudrait développer tout un attirail technologique (reforestation massive, recouvrir les déserts d'un matériau réfléchissant pour un albédo accru, fertilisation des océans pour une meilleure absorption du CO₂ par ceux-ci, etc.). Le caractère hasardeux de ce genre d'approches est régulièrement pointé du doigt (« *There is no Planet B* »), voir aussi le développement consacré au **chapitre 4**. Le raisonnement solutionniste est donc trop court : il ne considère pas les conséquences et nouveaux problèmes amenés par ces supposées « solutions ».

Les « *social fixes* » impliquent de transformer un problème social en un problème purement technologique. Morozov (2014) décrit par exemple le projet BinCam. Il s'agirait d'équiper nos poubelles d'une caméra : une photo serait prise à chaque fois que quelque chose de nouveau y est jeté, la photo serait ensuite analysée (part de déchets alimentaires, recyclables...) et le résultat de l'analyse posté sur Facebook. Par un jeu d'incitations positives (et par le regard des autres), chacun serait ainsi conduit à réduire ses déchets. Un tel projet ne se justifie que dans une vision (très) étroite du problème de l'émission des déchets : n'est pris en compte que l'acte individuel de jeter. Le « problème » et sa « résolution » ne prennent pas en compte : le système de production et de consommation plus global auquel le volume et le contenu de nos poubelles sont intimement liés, les éventuels effets pervers induits (il serait facile pour améliorer son score sans changer de mode de vie de déverser ses déchets dans la nature), la question des droits et devoirs civiques qui permettrait un comportement responsable en dehors de l'usage des poubelles connectées... Ce genre de « *social fixes* » est ainsi souvent court-termiste et s'attache au symptôme (le contenu de la poubelle) en ignorant les causes profondes du problème, en somme, le réel problème.

L'optimisation suppose une décorrélation progressive du coût d'une technologie (consommation de matière et d'énergie) par rapport au bénéfice qu'elle rapporte. Ce scénario poussé à l'extrême décrit un découplage entre croissance économique et impact environnemental (thèse implicitement soutenue par le « développement durable »). Mais cette recherche d'efficacité ignore les effets rebonds : une efficacité accrue permet de faire des économies sur les coûts

de matière première et d'énergie... et d'investir ces économies dans une augmentation de la production. Au local, on a donc bien économie, mais au global, on peut, dans les pires cas, aggraver encore la situation. L'effet rebond est par ailleurs un exemple de contre-productivité. Introduite par Illich, la contre-productivité désigne le phénomène selon lequel un surinvestissement dans un outil ou une institution en vue d'un objectif conduit à perdre de vue cet objectif et à s'en éloigner plutôt qu'à s'en rapprocher. La recherche continue d'amélioration du rendement conduit à perdre de vue l'objectif d'une baisse de la consommation, ce qui entraîne une augmentation de la consommation, soit une contre-productivité. Un technosolutionnisme passant par une recherche d'efficacité néglige donc encore une fois la complexité du problème : il se concentre sur des améliorations locales et oublie les conséquences globales.

1.2] De la scalabilité

Le propre de l'optimisation est qu'elle se calcule. Or ce calcul est supposé valable en tout lieu, donc en tout milieu. Le *one best way*, dans sa version taylorienne, n'est pas seulement universalisable (ce qui est valable ici est forcément valable là), il est aussi extensible ou plutôt *scalable* (si cela marche pour dix ouvriers, alors cela marchera pour mille ouvriers).

Le mot scalabilité est un anglicisme qui signifie la capacité à être mis à l'échelle ; on parle parfois, en français, d'extensibilité. Ce terme a un sens dans le *business* et serait essentiel à la stratégie de toute « start-up », mais il a également un sens plus technique en informatique. D'une manière générale, ce terme désigne la capacité pour une entreprise ou une technologie de se développer ou de s'étendre sans changer la nature de son activité et/ou ses normes. En technologie, un projet pourra être dit scalable, s'il peut grandir sans changer de nature, autrement dit, si la taille du projet ne transforme pas le projet lui-même. Ceci est un parti pris assez fort, car comme nous le rappellent les historiens dans ce volume, l'industrie est par définition un changement d'échelle qui est un changement de nature (cf. chapitre 5). Une des définitions la plus large de l'industrie demeure la suivante : la croissance quantitative d'un phénomène technique au point où l'on assiste à une rupture qualitative (Caliste & Carnino 2022). Par exemple, « si élever un cochon peut poser des questions d'hygiène, engraisser mille porcs soulève

des questions environnementales» (Caliste & Carnino 2022, p. 232; suivant Espagnol & Leterme 2010). Pour le dire autrement encore, entre un jardin et une serre, il y a plus qu'une différence de taille.

Les travaux de l'anthropologue Anna Lowenhaupt Tsing ont fait ressortir ce concept et cette logique de *scalabilité*, qu'elle analyse comme l'exclusion systématique des formes de *diversités* culturelles et biologiques, ce pourquoi elle développe une théorie de la non-scalabilité¹¹. La scalabilité n'est possible que si les éléments d'un projet ne construisent pas de relations qui les modifieraient, car le but de la scalabilité est de proposer un *one best way* qui ne souffre pas de nouvelles relations. Tout le travail de Tsing consiste dans la description de mondes non scalables, où les agents ne sont pas interchangeables, où les réseaux de dépendance, toujours situés, sont mutuellement transformateurs pour ceux qui y vivent (Tsing 2012, 2021). Contre une vision techniciste de l'adaptation, elle rappelle, en amie des champignons, que «l'adaptation n'est possible que dans le tumulte de la diversité. Il existe presque partout une corrélation négative entre la diversité et l'intensité des investissements en capital et du contrôle par l'État! Pour ceux qui aiment la diversité, un projet de contre-cartographie du capital et de l'État est peut-être nécessaire» (Tsing 2023, p. 106).

Toute pensée qui succombe à la *scalability*, c'est-à-dire à cette idée que le changement d'échelle n'est pas un changement de nature, accompagne l'Anthropocène dans sa destruction systématique de ce que nous avons de plus précieux, à savoir la diversité. Le projet moderniste en architecture et en design se fonda malheureusement sur cette idée que l'échelle ne compte pas: de la cuillère à la

[11] La théorie de la non-scalabilité développée par Anna Tsing prolonge son précédent livre sur la *Friction* (2020), car toute friction entre échelles différentes est proprement une relation créatrice de diversité. Les échelles d'un projet se bousculent et se surpassent les unes les autres. Étant donné que les relations sont des rencontres excédant les différences, elles présentent une certaine indétermination. Les relations sont transformatrices, et personne ne peut savoir ce qu'il en résultera. En conséquence, elles comportent toujours un potentiel de diversité. La théorie de la non-scalabilité exige de porter une attention particulière à la contingence historique, aux conjonctures inattendues, et aux façons dont les ponts enjambant les différences peuvent aboutir à de nouveaux programmes.

ville, du stylo au barrage, les mêmes règles de conception étaient censées s'appliquer (Petit & Guillaume 2018). S'il existe un design de la scalabilité¹², il est important désormais de laisser place à un design de la non-scalabilité. Nous essayons, pour notre part, de dépasser l'alternative entre *Small Tech* et *Big Tech* par la voie du *Milieu-Tech* (cf. chapitre 3).

Les plantations esclavagistes constituent chez Tsing le modèle par excellence du design scalable : un système fondé sur l'exploitation de vivants humains et non-humains que l'on coupe de leur milieu de vie (encadré 2). L'expansion du marché et son économie d'échelle découlent de cette foi dans la scalabilité. Le clonage même de la canne à sucre créa des champs prêts pour l'expansion¹³. Comme le rappelle Anna Tsing, on pourrait dire de la canne clonée du nouveau monde qu'elle se comporte comme un pixel : le propre du pixel est qu'on peut modifier l'échelle de l'image sans modifier sa forme. Comme les pixels, la canne clonée du Nouveau Monde constitue un élément (de paysage) sans relations transformatrices (Tsing 2021).

Encadré 2. Plantatiocène

La littérature scientifique parle aussi bien de plantationocène que de plantatiocène. Le terme plantationocène a été proposé par l'anthropologue Anna Tsing et la philosophe Donna Haraway ; il est repris aujourd'hui par l'écologie décoloniale (Haraway 2015, Haraway *et al.* 2015, Malcolm 2019). Plantatiocène évoque l'histoire longue de l'agriculture coloniale durant l'esclavagisme, et la pratique de l'agriculture intensive qui aliène les humains en même temps qu'elle détruit la nature. Cette destruction est notamment une destruction de la diversité biologique aussi bien que technique. Wolford décrit le plantatiocène comme «la simplification sur longues distances de paysages, l'aliénation des terres et du travail ; et le transport des génomes, plantes, animaux et personnes» (Wolford 2021, p. 1623, notre traduction). La Révolution verte peut être comprise comme un des visages particuliers du Plantatiocène. De façon générale,

[12] Voir par exemple Abbott & Fisher (2010) dont le but est d'améliorer mais aussi de naturaliser la scalabilité.

[13] Pour une analyse de la canne à sucre comme modèle de discipline pour les usines, voir Mintz (1989) et Wolf (2010).

elle désigne l'investissement massif, à partir des années 1960, dans une agriculture basée sur de nouvelles variétés à haut rendement, issues de croisements génétiques dans les pays dits «en développement». Ces nouvelles variétés sont créées et sélectionnées pour leur bonne réponse aux fertilisants et nouveaux intrants chimiques. On attend d'elles la reproduction de ce même rendement indépendamment de la taille de l'exploitation et autant que faire se peut du lieu de production.

L'histoire de l'industrialisation de l'agriculture, qui est aussi bien celle du procédé Haber-Bosch¹⁴ que celle de l'automatisation des machines agricoles, est très largement une histoire de perte de diversité (cf. chapitre II, sur la «zombification» de l'agriculture).

Si l'on examine attentivement un grand nombre des innovations en matière agricole au XX^e siècle – innovations qui peuvent sembler purement techniques et donc neutres – on est contraint de conclure que nombre d'entre elles furent à l'origine de monopoles commerciaux et politiques qui diminuèrent invariablement l'autonomie des cultivateurs (Scott 2021, p. 433).

Le professeur de stratégie et gouvernance des entreprises, Bertrand Valiorgue (2020), a parfaitement montré les limites de notre modèle agricole et son accablante destruction de diversité : 75 % de la production alimentaire mondiale est générée à partir de 12 espèces végétales et de 5 espèces animales ; 3 entreprises seulement contrôlent désormais à elle seule plus de 60 % du marché mondial de la semence végétal (Monsanto, Dow-DuPont, Syngenta) ; moins de 10 acteurs contrôlent désormais plus de 56 % des parts de marché des engrais et fertilisants ; quant aux machines agricoles, les 4 premiers acteurs se partagent 53 % de part du marché (John Deere, CNH, Kubota, AGCO). Il s'ensuit une perte d'autonomie des

[14] Le procédé Haber-Bosch permet la fixation de l'azote de l'atmosphère sous forme d'ammoniac. Le procédé fut mis au point en 1909 par Haber et développé à échelle industrielle par Bosch (Leigh 2004). L'ammoniac et ses dérivés forment une importante famille d'engrais, mais l'ammoniac permet aussi la production d'acide nitrique, servant dans les explosifs. Cette nouvelle industrie joua ainsi un grand rôle pour les forces des Alliés au cours de la Première Guerre mondiale, autant que dans la transformation profonde de l'agriculture.

cultivateurs non seulement du fait d'une dépendance matérielle mais aussi une perte de savoir-faire, de connaissances agricoles : avec la production des matières premières, ce sont les savoir-faire attachés à celles-ci qui sont déportés des cultivateurs aux industriels. Il en résulte la promotion d'un modèle agricole dominant – celui de ces quelques géants – au détriment d'une diversité de savoir-faire et pratiques agricoles (le cas du riz IR-8 dans la section suivante démontre cette inséparabilité entre « package » technologique des matières premières et savoir-faire).

Pour faire face à cette destruction de diversité, il précise alors ce que pourrait être une agriculture régénératrice fondée sur les communs naturels et techniques (Valiorgue 2020), c'est-à-dire sur une gestion des ressources non pas par le marché ou l'État mais par ses usagers et ses bénéficiaires¹⁵. Dans la même perspective, des associations comme Li Mestère en Belgique travaillent à restaurer une diversité semencière. Ce qui intéresse cette association ce n'est pas la diversité génétique comme telle, mais la diversification comprise comme adaptabilité : on parle alors de technodiversité générative¹⁶.

1.3] Le planificateur contre la *métis*

La recherche de scalabilité et l'optimisation se rejoignent dans leur opposition à la diversité et dans le brouillage des frontières entre ingénierie et management. Par exemple, la sylviculture scien-

[15] Un « commun » n'est pas une ressource laissée en libre accès mais un mode de gestion alternatif des ressources n'étant ni propriété privée, ni propriété publique (Ostrom 2010).

[16] Comme l'explique, son administrateur, Didier Demorcy : « Li Mestère tente donc de contribuer à cette lutte pour l'instauration de nouveaux types de Communs autour des semences par la réappropriation, la diffusion et le partage d'un certain savoir semencier : culture, observation, sélection, reproduction – voire croisement. [...] En cultivant les variétés dans différents endroits en Belgique, nous les confrontons à des sols différents, à des conditions climatiques variées, à des pressions sélectives diversifiées. Conserver de manière vivante une variété, c'est lui permettre de s'adapter et donc de changer ! À l'inverse de l'agro-industrie, nous ne considérons pas la conservation des variétés comme la préservation de ressources génétiques fixes dans lesquelles puiser, mais bien comme la restauration et l'entretien de la vitalité et du potentiel de transformation de plantes – toutes singulières » (Demorcy 2021).

tifique, qui conçoit la forêt comme une machine produisant une marchandise (le bois), s'inspire de la théorie de la commande optimale importée de la science managériale. Le politiste et anthropologue anarchiste américain James Scott (2021) a donné le nom de « haut-modernisme » à cette destruction systématique de la diversité, et lui a consacré un ouvrage foisonnant qui traite aussi bien d'architecture (industrielle) que d'agriculture (industrielle), et qui met sur le même plan Lénine et Le Corbusier : tous deux rêvent de détruire la diversité et de faire table rase du passé¹⁷.

Le haut-modernisme pousse à l'extrême les voies de la modernisation : homogénéisation, uniformisation, simplification, quadrillage. Il s'agit d'un impérialisme de l'ordre social planifié, par lequel les bénéfices des progrès scientifiques et techniques sont investis dans tous les champs de l'activité humaine (Adas 1980). Il s'agirait de l'idéologie par excellence de l'*intelligentsia* bureaucratique, des techniciens, des planificateurs et ingénieurs.

Une technologie qui se limiterait à la théorie, sans intégrer la pratique, manquerait son objet ; car la technique (*techné*) ne concerne pas seulement la production (*poïesis*), mais la pratique (*praxis*). Pour décrire l'ensemble des comportements qui ne peuvent pas être planifiés, James Scott utilise le terme grec de *mêtis* qui désigne, le large éventail de savoir-faire pratiques et d'intelligence développés en s'adaptant sans cesse à un milieu (naturel et technique) en perpétuel changement (Detienne & Vernant 1974). La *mêtis* est ce savoir individuel et pratique qui repose sur l'observation extrêmement fine et attentive du milieu ; ce pourquoi la pratique et l'expérience reflétées par la *mêtis* sont presque toujours locales. James Scott oppose ainsi la *mêtis* – en tant qu'ensemble de compétences et de savoirs contextuels, pratiques et flexibles – à la *technè* – en tant que savoir technique universel.

Tandis que la *mêtis* est contextuelle et particulière, la *technè* est universelle ; la *mêtis* n'est pas une *technè* générale et reproductible,

[17] Le livre est intéressant par les ponts qu'il dresse : « Il est utile de souligner le parallèle fort entre l'argumentaire en faveur de la diversité en agriculture et en foresterie et l'argumentaire proposé par Jacobs en faveur de la diversité dans les quartiers urbains » (Scott 2021, p. 424). Nous retrouvons la figure de Jane Jacobs contre Le Corbusier au chapitre 3.

mais une aptitude particulière : par exemple un bon pilote de Boeing 747 ne signifie pas un bon pilote aux commandes d'un DC3. Victor Scardigi (1995), en étudiant l'automatisation en aéronautique, a d'ailleurs montré la différence entre les deux cultures : celle de l'ingénieur qui conçoit et commande, et celle du pilote qui conduit. La culture du pilote s'oppose à celle de la planification, et il serait possible de lui attribuer les règles qui lui résistent : procéder à petit pas ; préférer la réversibilité ; s'attendre à des surprises ; compter sur l'inventivité humaine (Scott 2021).

2] L'optimisation défailante

L'optimisation est défailante quand elle ignore les effets de seuil et de contre-productivité (cf. encadré 1). Nous développons deux exemples : celui des variétés dites à haut rendement (HYVs) dans le domaine agricole et celui du conflit sur l'écartement des rails en Grande-Bretagne au XIX^e siècle. Le premier exemple fait écho à ce qui vient d'être dit sur le plantaciocène et sur la taylorisation du vivant. Il illustre l'échec de la scalabilité ou d'une certaine idée de la standardisation qui se joue contre la technodiversité. Le deuxième exemple montre, contrairement au récit progressiste, que le « *one best way* » n'émerge pas spontanément de la diversité : à partir d'un foisonnement d'essais-erreurs, ce n'est pas la solution optimale qui s'impose comme norme. Au contraire, on montrera qu'une diversité technologique résiste. Il est donc illusoire de croire que le meilleur finit forcément par s'imposer par sa seule vertu. Non seulement, on n'est jamais sûr qu'« à la fin le meilleur gagne », mais expliquer rétroactivement qu'une solution technique s'est imposée parce qu'elle était la meilleure est un tour de passe-passe, qui n'a pour seul avantage que de ne rien expliquer du tout et faire l'économie de l'histoire et des processus réels.

2.1] Le riz miracle ou les mirages de la scalabilité

Notre exemple se base sur le riz IR-8 qui fut surnommé le « riz miracle », l'une des variétés phare de la Révolution verte, notamment en Asie. Nous en suivons le développement en Indonésie, dans les années 1960, dans l'un des plus gros projets de modernisation agricole. Mais le déploiement du riz « miracle » fut abandonné quelques années plus tard. Essayons de comprendre pourquoi.

2.1.1] Le riz « miracle » IR-8

Ce riz à haut rendement, officiellement introduit en 1966, fut développé par l'International Rice Research Institute (IRRI). Dans les années qui suivirent, des semences d'IR-8 furent massivement introduites et cultivées aux Philippines, au Mexique, au Vietnam, en Malaisie ou encore en Indonésie. La création de la variété IR-8 donne un exemple parfait d'une logique d'optimisation : 38 croisements ont été réalisés entre différentes espèces traditionnellement cultivées, IR-8 est issu du 8^e de ces croisements, le seul sélectionné pour la suite¹⁸ (Hargrove & Coffman 2016). La hausse de rendement s'appuie sur des changements cruciaux dans la morphologie de la plante : là où les espèces traditionnelles étaient hautes avec de longues tiges, IR-8 est une espèce semi-naine aux tiges plus robustes. Comme le précise l'IRRI cette modification morphologique n'avait d'autre but que d'assurer une bonne adaptation de la plante aux usages massifs des fertilisants, notamment azotés : « Quand un fermier fertilise une grande plante, elle s'écroule ou tombe à terre. Il fallait donc créer un plant de riz plus court ! » (Hettel 2016, p. 4, notre traduction). Dès sa conception, IR-8 fut donc sélectionné pour être inscrit dans un modèle d'agriculture basé sur l'usage d'intrants chimiques. C'est pourquoi ce riz est indissociable d'un lot plus large de fertilisants, insecticides et pesticides sans lesquels il n'y a pas de hausse de rendements.

Plutôt que de se concentrer sur les seules semences, il serait donc plus juste de parler ici d'un « package de technologies ». *L'Encyclopedia of Food Security and Sustainability* écrit ainsi que ce riz nain est un package de semences, de fertilisants, de pesticides, mais aussi d'un système mieux contrôlé d'irrigation¹⁹

[18] 130 graines ont constitué la 1^{re} génération. Elles en ont donné 10000 pour la 2^e. La 3^e génération fut constituée d'¼ des effectifs de la 2^e (les plantes présentant le caractère nain recherché), et 298 pieds furent choisis pour donner les graines de la 4^e génération. Parmi la 4^e génération, une seule plante fut sélectionnée : le premier, et *de facto* fondateur, specimen d'IR8.

[19] « Il faut garder à l'esprit que le blé nain, ainsi que la descendance de l'IR-8, avaient une tige courte. C'est une condition nécessaire pour qu'ils puissent supporter les épis plus lourds qui résultent d'une fertilisation accrue et des caractéristiques génétiques choisies, et c'est donc une condition préalable à leurs rendements plus élevés. Ces derniers, en retour, ont entraîné une plus grande sensibilité aux parasites et la nécessité

(Djurfeldt 2018). Cependant, à nos yeux, ce package ainsi décrit oublie un élément essentiel : les pratiques agricoles ont dû elles aussi, se transformer et s'uniformiser à grande échelle, notamment pour appliquer fertilisants et pesticides au bon moment.

2.1.2] Le Projet Bimas Gotong Royong : déploiement du riz IR-8 en Indonésie

Revenons sur un épisode particulier de la Révolution verte, que nous développons à partir des travaux de l'historienne Karin Bugow. Il s'agit d'un projet agronomique en Indonésie à la fin des années 1960 : le Projet Bimas Gotong Royong (BIMAS étant l'acronyme de BImbingan MASsal ou encadrement massif) (Bugow 2021). Vingt ans après l'indépendance de l'Indonésie (1945), le général Soeharto organise un coup d'État sanglant instaurant un gouvernement militaire anticomuniste. Le pays fait face à l'époque à une problématique malthusienne : l'augmentation de la production agricole est plus lente que la croissance démographique. Le nouveau gouvernement décide alors d'engager un projet de grande ampleur de modernisation de l'agriculture en collaboration avec Ciba, une entreprise chimique suisse. Celle-ci a pour mission d'introduire de nouvelles semences de riz ainsi que l'usage massif de fertilisants et donc de nouvelles pratiques agricoles, dont la pulvérisation aérienne d'insecticides. Trois cent mille hectares de culture sont concernés par ce projet dont l'ambition est d'augmenter les rendements de plus de 50 %.

L'originalité de l'analyse de Karin Bugow est d'avoir montré l'importance du soutien de l'État, à la fois dans sa forme financière (elle démontre l'importance de l'implication des États « développés », principalement les États-Unis et l'Europe, à travers des aides et des assurances financières aux multinationales dans la décision de ces dernières de s'implanter dans les pays en développement) et dans sa forme bureaucratique (avec notamment le déploiement des militaires, dans le cas de l'Indonésie). Elle montre très bien comment le riz IR-8 n'est rien sans le package technologique, mais aussi politique qu'il suppose.

d'augmenter les apports de pesticides. C'est pourquoi les technologies de la révolution verte sont souvent décrites comme des packages de semences, fertilisants et pesticides. Dans le cas du riz, l'amélioration de l'irrigation pour une meilleure maîtrise de l'eau fait également partie du package» (Djurfeldt 2018, p. 1).

Mais Karin Bugow ne décrit pas complètement ce *package*, puisque celui-ci, comme tout système technique, contient des pratiques humaines, et en l'occurrence, les pratiques agricoles. Celles-ci sont tout aussi cruciales que les ressources techniques et financières. D'ailleurs, la commande à Ciba du gouvernement indonésien dans le cadre du projet Bimas Gotong Royong comprenait un programme d'éducation des paysans au nouveau modèle agricole. Cette dimension semble avoir été néanmoins secondaire aux yeux de Ciba, davantage préoccupé par la vente de son *package* technologique. En lieu et place d'un programme d'accompagnement des fermiers, le volet « pratiques » du *package* de Ciba s'est plutôt appuyé sur les ressources du complexe militaro-industriel.

Afin de pouvoir accéder aux zones rurales les plus difficiles d'accès, Ciba eut, en effet, recours aux forces de l'armée indonésienne pour la distribution des semences et fertilisants. L'autre aspect du programme reposait sur un programme de pulvérisation par avions des pesticides. L'avion représentait en lui-même un symbole marquant de la modernisation et devait permettre de passer outre les difficultés d'accès et de collaboration avec les paysans. Ainsi, l'application des pesticides restait entièrement sous la responsabilité d'une administration centrale. En conséquence, c'est par la coercition que les paysans eurent à adopter le *package* de Ciba.

Ce programme de modernisation et d'uniformisation forcées est un échec notoire. Malgré ce vaste déploiement de moyens technologiques et militaires, le président Soeharto jugea les résultats du projet insuffisants et y mit fin en 1970 : malgré le concours des forces de l'armée, la distribution des produits nécessaires (semences, fertilisants, etc.) fut difficile (retards de livraison et soupçons de corruption sont documentés) ; symétriquement, le contrôle des volumes récoltés et la collecte de la taxe sur celle-ci furent tout aussi difficiles, ce qui limita le retour sur investissement pour l'État indonésien. En outre, l'application des intrants chimiques fertilisants était contrôlée de façon centralisée, leur utilisation restait sous la responsabilité des paysans, or cette combinaison des modes de gestion rendit le *package* relativement inefficace²⁰, les calendriers des uns et des autres se coordonnant mal.

[20] « Relativement », car une hausse de rendements est bien observée mais

2.1.3] Une résistance de la technodiversité

Cet exemple nous montre plusieurs choses. Le miracle de la productivité du riz IR-8 repose sur trois erreurs épistémologiques :

1. détacher les propriétés miraculeuses du riz de leur milieu technique et écologique, en l'occurrence les plantations expérimentales dont il est issu (originellement expérimenté aux Philippines, avant de s'exporter) ;
2. masquer la nécessaire reproduction des conditions de ces plantations lorsque le riz est proposé comme solution ;
3. oublier donc que ce n'est pas le riz qui est productif, ni même le package riz-fertilisants-pesticides mais un milieu encore plus large comportant conditions écologiques, conditions socio-économiques et pratiques agricoles.

Ce sont précisément ces conditions, en l'occurrence le contexte écologique spécifique de toute plantation, et la nécessaire collaboration entre industriels et fermiers, qui ont été négligées lors du déploiement à grande échelle du projet BIMAS.

La recherche de la scalabilité du riz IR-8 reposait sur une double uniformisation : une uniformisation biologique, en imposant une unique espèce cultivée à la place de la variété des cultures traditionnelles, et une uniformisation technologique, en l'occurrence celle du *package* technologique du riz miracle. Cette uniformisation technologique s'opposait à la diversité des pratiques agricoles qui devaient être disciplinées par l'usage d'intrants et la synchronisation de leur action avec le passage des avions. Le mérite de cet exemple est de nous montrer que ce qui est valable pour un plant de riz ou un hectare de riz ne l'est pas nécessairement à plus grande échelle. Personne ne conteste que le plan de riz IR-8 soit plus « optimal » en rendement, mais son utilisation massive, ici comme ailleurs, n'a pas pour autant été « optimale ». Ceci montre bien que le *one best way* supporte mal le passage à l'échelle, alors même qu'il est censé le justifier.

le riz ne remplit pas complètement ses promesses : en 1970, le ministère de l'Agriculture indonésien donne le chiffre de 65,7 % de l'objectif atteint seulement (étude concernant l'ensemble du pays et pour deux variétés : IR-8 et IR-5). À ceci s'ajoute une chute considérable des sommes touchées par l'État, en 1969 est documentée une chute de 90 à 34 % de sommes perçues par rapport à la projection initiale.

Les échecs de la scalabilité, dans cet exemple comme dans les suivants, sont aussi à comprendre comme une résistance de la diversité qui préexistait au projet. La technodiversité nomme ici cette diversité *de facto*, diversité des milieux qu'une économie de la scalabilité voudrait oublier ou anéantir. Cette technodiversité existe de fait et persiste à exister en dépit des efforts incessants d'uniformisation ou de standardisation. En opposition à ce modèle scalable, on pourrait appeler permaculture des milieux cette forme d'agriculture qui met la variation et la diversité au cœur de sa pratique²¹.

Le potentiel génétique de ces variétés d'élite ne peut s'exprimer qu'au prix d'un dispendieux alignement technologique et culturel : engrais, amendements calcaires, mécanisation, remembrement, amélioration des transports, réorganisation des parcelles et des pratiques agricoles et pesticides d'autant plus nécessaires que la diversité génétique se fait absente, etc. Le paradoxe est que ces variétés ont été imposées au nom de la science et du progrès, alors que les conceptions durables de l'agriculture qui partent du terrain plutôt que du laboratoire ne sont pas moins scientifiques en ce sens qu'elles demandent plus de connaissances.

2.2] Standardisation versus « one best way »

L'exemple du riz IR-8 illustre les difficultés du passage à l'échelle. Mais à terme, la meilleure solution ne finit-elle pas par s'imposer ? Certes, il peut y avoir des accrocs sur le chemin du progrès, mais la meilleure solution n'est-elle pas vouée à se dégager et à se généraliser, ne serait-ce que par les mécanismes du marché ? D'ailleurs n'est-il pas sous-entendu que l'*homo œconomicus*, c'est-à-dire l'individu agissant pour son intérêt propre, choisit toujours ce qui est optimal pour lui. L'individu économique est dit rationnel, car il serait conduit à distinguer le « one best way » parmi la diversité des solutions. Et à l'inverse, le résidu de diversité ne serait qu'une scorie du progrès ou du moins une entrave à l'émergence de la solution optimale.

Le cas de la « guerre des écartements », épisode célèbre de l'histoire du chemin de fer au Royaume-Uni, est un bon contre-exemple...

[21] Sur la diversité dans les pratiques agricoles, voir Cohen (2017), Chakroun (2020); voir aussi la section 10 « Dézombifier l'agriculture » du chapitre 11.

dans lequel la solution optimale ne s'impose pas d'elle-même et la diversité résiste à l'uniformisation.

On retrouve cette idée dans cette citation de 1868 de François Jacqmin, alors directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est :

L'uniformité absolue des règlements entraînerait un inconvénient très grave; elle interdirait à l'avance toute étude, tout progrès. L'exploitation des chemins de fer est trop récente pour que l'on puisse la considérer comme parfaite, et on doit encore compter sur de nouveaux perfectionnements [...]. La diversité dans les détails est donc favorable au progrès (Jacqmin 1868, p. 131-132 cité par Ribeill 2003).

La citation de Jacqmin est remarquable puisqu'elle n'oppose pas diversité et progrès. Au contraire, la diversité serait requise par le progrès technologique. On notera néanmoins la réserve de l'auteur qui situe la diversité «dans les détails» et ne réfute pas toute uniformisation mais une «uniformisation absolue». Selon François Jacqmin, il faut laisser libre cours à l'expérimentation technologique, afin de pouvoir choisir la meilleure option possible. Mais, comme nous allons le voir, l'option choisie questionne la définition du «meilleur».

2.2.1] La « guerre des écartements » dans la Grande-Bretagne du XIX^e siècle

Au XIX^e siècle, les réseaux de chemins de fer en Europe se sont construits par différenciation entre États, et même au sein des États. Il en résulte une grande hétérogénéité entre une pluralité de réseaux. Cette différenciation s'explique par le jeu des «cultures techniques nationales» (Caron 1998, p. 61). Le chemin de fer se construit à la fois en prise avec les systèmes de transports pré-ferroviaires mais aussi avec les nouvelles pratiques industrielles de l'époque, par des jeux d'essais-erreurs dans la mise au point du réseau, par des cadres réglementaires différents et plus ou moins libéraux. Ainsi, si, en France, la tutelle de l'État a établi une normalisation minimale sur le développement du chemin de fer, ce ne fut pas le cas du Royaume-Uni, donnant lieu à la «guerre des écartements».

Le développement des différents réseaux s'y est fait en toute indépendance par les compagnies, si bien qu'en 1845, on dénombreait 13 écartements différents dans le pays (Lamming 2003).

L'interconnexion difficile induite d'un réseau à un autre n'était toutefois pas une préoccupation des compagnies, des réseaux séparés leur permettant de garder un monopole et contrôle total sur leurs voies. Toutefois, avec l'extension des réseaux et l'augmentation du trafic marchand et passager, des tensions se sont fait jour, et notamment autour des transbordements entre les deux écartements de facto les plus répandus : 4 pieds 8,5 pouces, surnommé « écartement étroit », majoritaire en Angleterre du fait de la domination dans la production des locomotives Stephenson qui avaient arbitrairement choisi cette norme ; 7,25 pieds, l'« écartement large » qui représentait 12 % du réseau en 1845, promulgué par la Great Western Railway, sur les recommandations de l'ingénieur Brunel, dans le sud-ouest de l'Angleterre et au Pays de Galles. Ce choix technique offrait différents avantages : les trains étaient plus rapides, plus stables et assurèrent en quelques années une réputation mondiale à la compagnie. Ce plus grand écartement permettait également une maintenance et une réparation plus aisée du matériel.

Les gares constituaient des interfaces entre les réseaux à écartements large et étroit, mais les transbordements y posaient de nombreuses difficultés. Déjà, cela signifiait un double matériel ferroviaire : deux voies ferrées, une à chaque écartement, deux trains. À ceci s'ajoutaient les moyens logistiques nécessaires au transport des marchandises d'un train à l'autre. Il s'agissait également d'une perte de temps et d'une possible source d'erreurs (marchandises égarées suite à un transbordement vers le mauvais train). Tous ces surcoûts économiques devinrent une préoccupation majeure dans les années 1840. Les industriels de Birmingham, exaspérés de ces transbordements sources de retard et d'erreurs dans les expéditions des marchandises les désignèrent comme « un mal préoccupant, un mal commercial, de la première importance » (Sidney 1846, p. xxvi). La diversité apparaît donc ici comme une valeur négative, loin de nourrir le progrès. Un besoin de standardisation se fait sentir.

L'État se saisit finalement de la question, et suivant les conclusions d'un rapport commandité en 1845, imposa par un Acte du Parlement en 1846 l'écartement étroit pour toute nouvelle construction de voies... à l'exception toutefois du Pays de Galles et du sud-ouest de l'Angleterre où l'écartement large fut encore permis (Wikipedia 2022). Ce n'est qu'à partir de 1869 que le Great Western Railway

engagea des travaux d'adaptation de ses lignes à la norme des 4 pieds 8,5 pouces, du fait des difficultés de transbordement et de la perte d'avantage technique, les locomotives sur voies étroites ayant notamment progressé en vitesse (Lamming 2003).

Le rapport qui précéda l'acte parlementaire a réuni l'ensemble des acteurs importants du ferroviaire de l'époque, ingénieurs et directeurs des grandes compagnies, constructeurs du matériel roulant (dont, donc, Stephenson et Brunel). Ils conclurent qu'un écartement légèrement plus grand que l'écartement devenu « normal », de l'ordre de 5 à 6 pieds aurait été souhaitable. Toutefois, devant le coût financier que la conversion du réseau aurait nécessité, la préconisation fut de 4 pieds 8,5 pouces (Lamming 2003). Ici, donc, la meilleure technologie ne l'a pas emporté. Le performant écartement Brunel s'est incliné face au poids de son concurrent.

2.2.2] La « technodiversité » condition du standard

Il s'agit d'un cas où optimisation économique et optimisation technique divergent : il faut choisir entre deux grandeurs à optimiser. C'est également un bel exemple de dépendance au sentier : un cas où les décisions passées orientent les décisions présentes (**encadré 3**). La dépendance au sentier est ici créée par le coût multidimensionnel de la conversion : financier, oui, mais aussi le coût matériel (transformation des voies, mise au rebut du matériel à écartement « large », renouvellement du matériel ferroviaire), la main-d'œuvre à mobiliser, le coût technologique (pour penser et résoudre l'ensemble des problèmes logistiques et technologiques de la conversion).

Le point crucial est que la différence entre le *best way* rationnellement déterminable et le standard choisi réside dans les milieux techniques. L'étude qui donne l'écartement large comme meilleur, voir optimal, suppose une comparaison technique qui fait abstraction des milieux : les réseaux déjà constitués, leurs histoires. C'est la réintroduction de ce milieu dans le raisonnement qui permet de comprendre la décision du Parlement. Il n'y a pas d'optimisation au sens d'une convergence vers un optimum univoque. La standardisation est plutôt une négociation avec des milieux diversifiés.

Non seulement le choix de l'optimum repose sur une négociation entre les normes de divers milieux enchevêtrés plutôt qu'il ne s'impose par la seule vertu de l'efficacité, mais la diversité fait aussi

de la résistance. Le réseau ferroviaire regorge, en effet, d'exemples qui échappent aux efforts successifs et maintenus d'uniformisation. Pour rester sur les écartements, l'Espagne et le Portugal ne partagent pas l'écartement normal dominant en Europe et dans le monde. En France, où les trains, par convention et imitation du Royaume-Uni, roulent à gauche, l'Alsace-Lorraine fait exception : les trains y circulent à droite, héritage de la domination allemande avant la Première Guerre Mondiale sur la région. Les moult petits obstacles qui se sont opposés au changement de convention après la guerre ont conduit à renoncer à une harmonisation pleine et entière (JO Sénat, 02/05/2002, p. 1276). Enfin, on pourra citer l'exemple de l'électrification des voies françaises : dans le nord, les trains sont alimentés en utilisant du 25 kV alternatif, dans le sud, l'alimentation est majoritairement du 1500 V continu (Wikipédia 2022). Le « meilleur » reste parfois le divers, pour toute une série de raisons locales avec lesquelles il faut bien composer.

Le cas du chemin de fer offre ainsi un exemple important de tension entre standardisation et diversification. Parce que l'industrie ferroviaire était balbutiante, son développement ne fut pas standardisé *a priori*. La diversité s'est donc instituée *de facto* comme une caractéristique du réseau, ou plutôt des réseaux, en construction. Quand la problématique de standardisation est devenue plus pressante au fur et à mesure de l'expansion des réseaux, et peut-être plus particulièrement dans la rencontre de réseaux auparavant indépendants, la diversité s'est trouvée être à la fois une résistance, une force inertielle compliquant la standardisation, mais aussi une composante structurelle capable d'orienter le standard en construction. De par cette double réaction de la diversité à l'effort de standardisation, nous proposons de décrire cette dernière, non pas simplement comme s'opposant à la diversité mais comme une négociation au sein de cette diversité. La diversité est alors la *condition avec laquelle* la standardisation doit être faite et non quelque chose que la standardisation doit éliminer à tout prix. Le résultat de cette négociation pour le ferroviaire est donc un réseau qui regorge *de facto* de technodiversité et qui, du fait de la longueur et des difficultés des politiques d'uniformisation, devrait le rester²².

[22] On pourrait tirer des travaux de Fanny Lopez sur les infrastructures

Encadré 3. La dépendance au sentier. « *When history matters* »

De façon générale, on parle de dépendance au sentier quand une situation particulière, et éventuellement sa persistance, s'expliquent par le poids de choix ou d'événements passés qui rendent difficile une bifurcation vers une autre situation, qui aurait pu être davantage souhaitable, voire même « optimale » d'un point de vue économique par exemple. La notion de « dépendance au sentier » est transverse, notamment, aux sciences politiques, à l'économie ou encore à la sociologie. Elle a été d'abord introduite par Paul A. David en 1985 pour désigner le cas où une situation peut être fortement influencée par des événements passés lointains, y compris des événements aléatoires. Toutefois, en raison de la diversité des recherches ultérieures sur le sujet, il est difficile aujourd'hui de donner une définition unique et consensuelle à la dépendance au sentier. C'est pourquoi Mahoney & Schensul (2009) reconnaissent un pluralisme de définitions et établissent six caractéristiques transverses : tous les auteurs ne souscriront pas à chacune d'entre elles mais, plutôt, à une combinaison particulière de celles-ci. Cette combinaison particulière conduira à une vision plus ou moins restrictive de la dépendance au sentier, faisant d'elle un phénomène soit très courant de l'histoire, soit plutôt rare et spécifique. Ces six caractéristiques sont les suivantes :

(1) Le passé affecte le futur : cette première caractéristique est consensuelle, les événements du passé ont un impact sur les évé-

nergétiques des conclusions similaires. Elle documente en effet une diversité continuellement renouvelée dans et autour du réseau (Lopez 2013, 2019). Dans le réseau d'abord, l'hétérogénéité et la non-reproductibilité dominant du fait de la rencontre et de l'adaptation des structures techniques au milieu géographique (cf. chapitre 2 pour l'analyse de Simondon sur cette question), du fait également les multiples modalités de mutualisation et degrés d'autonomie des microstructures par rapport à la macrostructure. Autour du réseau ensuite, Lopez démontre la continue coexistence dans l'histoire des réseaux électriques de projets visant l'élaboration d'un vaste réseau unifié ou une déconnexion pour une autonomie énergétique – ces deux positions n'étant que les extrêmes d'une multitude de gradients possibles. Enfin, Lopez rappelle que chacun de ces projets infrastructurels s'inscrit dans un projet politique, un mode de gouvernance. La technodiversité du réseau pose donc aussi l'enjeu de la diversité des modes de gouvernance que la ville de Londres (Lopez 2018) illustre très bien (public centralisé ou non, privé, autonomie exclusive ou coopérative...).

ments ultérieurs. Néanmoins, à elle seule, cette description sonne comme une évidence et en ce sens, est généralement jugée insuffisamment précise.

Exemple : L'écartement des chemins de fer devenu « normal » commun à la majorité de l'Europe et du monde provient des locomotives Stephenson, dominantes sur le marché au Royaume-Uni lors du développement du chemin de fer au XIX^e siècle et qui s'est ensuite exporté outre-Manche (Lamming 2003). En France, l'infrastructure du chemin de fer en étoile centré sur Paris qui nous est familière prend son origine dans une loi de 1842 consacrant une proposition de 1838 d'Alexis Legrand (Wikipedia 2021).

(2) La causalité des conditions initiales : les conditions initiales sont relatives à des éléments qui vont initier ou qui seront présents avant une « jonction cruciale ». Cette jonction marque le début du « sentier » : le déclenchement de certains processus qui aura pour cause ces conditions initiales et entraîneront le système considéré vers un résultat ou une situation particulière plutôt qu'une autre. Il ne s'agit pas de déterminisme mais plutôt d'une inflexion vers une situation possible parmi un certain rang de possibles.

Exemple : Dans les années 1950, le Corps des ingénieurs de l'armée américaine a déterminé, qu'en raison de processus géologiques naturels, le cours du Mississippi changerait d'ici les années 1990, délaissant son ancien lit pour se déverser dans la rivière Atchafalaya (Markolf 2018). Ceci représentait un important risque d'inondations aux abords de cette rivière et, à l'inverse, de manque d'eau pour les villes comptant sur le Mississippi. Pour éviter cette situation, la Old River Control Structure fut construite en 1963 pour maîtriser le cours du fleuve et de la rivière. Cette construction peut être considérée comme une jonction cruciale : à partir de ce point, les autorités américaines ont investi une stratégie de maîtrise technologique des eaux. De par la confiance en cette stratégie, la région a connu un développement économique et démographique croissant, rendant, par conséquent, cette maîtrise de plus en plus cruciale. La Old River Control Structure dut être successivement renforcée en 1986 puis en 1990. La décision initiale a donc entraîné le système vers un besoin de renforcement progressif de cette stratégie de maîtrise, rendant de plus en plus difficile un changement d'approche. Il serait ainsi très compliqué de finalement accepter le changement dans le cours

du Mississippi vers la rivière Atchafalaya et de déplacer toutes les activités économiques en dépendant.

(3) La contingence : s'il n'y a pas de déterminisme, alors il y a contingence (ce qui aurait pu ne pas être). Les auteurs qui appuient leur définition de la dépendance au sentier sur cette caractéristique appuient sur la relation stochastique entre conditions initiales et situations « finales ». Cette relation pourra alors être étudiée et exprimée en termes probabilistes.

Exemple : Paul A. David (1985) propose le concept de dépendance au sentier en l'illustrant de l'exemple du clavier QWERTY. La disposition « QWERTY » des touches et leur démocratisation comme clavier universel sont toutes deux le fruit de contingences. La disposition « QWERTY » est le fruit d'une recherche visant à éviter que les petits bras mécaniques des machines à écrire ne s'entremêlent lors d'une tape trop rapide. C'est donc une exigence fonctionnelle qui a commandé cette disposition... à ceci près que la position du « R » fut inversée avec celle du « . » pour une simple raison de publicité : « QWERTY » permettait de réunir sur une même ligne les lettres nécessaires à l'écriture de « TYPE WRITER », permettant un exemple de tape très rapide pour les démonstrations commerciales. Néanmoins, cela ne suffit pas à imposer QWERTY comme universel. D'autres technologies (la machine à « boule » par exemple) ont permis tôt de dépasser les inconvénients des bras mécaniques, rendant donc caduque le principal argument en faveur du clavier QWERTY. C'est par contingence qu'un phénomène autoreproductif s'est d'abord mis en place (voir ci-dessous).

(4) Le « verrou » historique : la métaphore du verrou exprime l'idée d'une impossibilité de bifurcation une fois engagé sur un « sentier » particulier. Il serait impossible de revenir en arrière, le choix ou le processus qui a initié ce sentier serait irréversible. Cette formulation est néanmoins critiquée car pouvant laisser entendre un certain déterminisme. De façon plus consensuelle, il sera admis que des dynamiques plus anciennes ont généralement un poids plus important que des événements récents sur le « sentier » emprunté. Ce poids plus important peut par exemple venir d'un phénomène d'accumulation.

Exemple : Dans le cas du développement du chemin de fer au Royaume-Uni, c'est l'accumulation progressive de voies adoptant l'écartement « étroit » de 4 pieds 8,5 pouces qui a progressivement

«verrouillé» le système, rendant de plus en plus difficile d'opter pour un autre écartement.

(5) La séquence autoreproductive : ce phénomène décrit le renforcement progressif, avec le temps, d'une situation donnée, ainsi elle «s'autoproduit» et il devient de plus en plus difficile d'en changer. Cette autoreproduction peut s'expliquer par des comportements économiques : cherchant son propre intérêt, l'*homo oeconomicus* rationnel agira de sorte à maintenir la situation qui accroît son gain ; mais des facteurs sociologiques (mécanismes de renforcement du pouvoir en place ou de légitimation) peuvent aussi jouer.

Exemple : Comme vu ci-dessus, grâce à l'évolution de la technologie, la disposition des touches du clavier QWERTY aurait pu être maintes fois révisée ou carrément écartée pour optimiser la vitesse de frappe. Cela ne s'est pas produit en raison de l'habitude répandue des claviers QWERTY et un mécanisme d'autoreproduction. Plus le nombre de personnes formées à l'usage du clavier QWERTY est important, plus grande est la probabilité qu'une compagnie investisse dans du QWERTY, et réciproquement. Il en a résulté une domination progressive du QWERTY et un renforcement croissant de cette domination.

(6) La séquence réactive : certains auteurs considèrent aussi comme des dépendances de sentier des séquences réactives. Il s'agit d'enchaînements d'événements ordonnées dans le temps selon des relations de causes à effets directes : chaque événement n est une réaction découlant de l'événement $n - 1$ et une cause de l'événement $n + 1$.

Exemple : Dans une étude de 1994, cherchant à expliquer la vive hausse de politiques d'aides sociales aux États-Unis de 1968-1969, Isaac *et al.* identifient la chaîne causale suivante : Martin Luther King Jr fut assassiné en avril 1968, entraînant l'échec de la Poor People's Campaign qu'il coordonnait alors : une marche vers Washington pour réclamer plus de justice économique. Il en résulta d'importantes émeutes pendant l'été qui suivit, et par suite un plus grand militantisme en faveur des aides sociales. En conséquence, il y eut une libéralisation des critères d'acceptation de l'AFDC et une hausse des demandes de celle-ci, entraînant pour finir une forte hausse des listes d'AFDC (Isaac *et al.* 1994, Mahoney 2000).

3] Biodiversité et « technodiversité »

3.1] Qu'est-ce que la « technodiversité » ?

Nous avons vu l'intérêt de considérer la diversité technologique pour elle-même et de résister aux sirènes du « *one best way* ». Mais quelles peuvent être les leçons du vivant ? Peut-on concevoir un équivalent technologique de la biodiversité ?

Le terme scientifique de « biodiversité » ne nomme pas seulement un fait (et ses mesures), mais aussi une valeur (et ses normes) (Casetta 2021)²³. En effet, le terme « biodiversité » n'est en apparence que l'abréviation de « diversité biologique » couramment utilisé auparavant ; néanmoins la « biodiversité » s'est imposé suite à sa promulgation en 1986 à la fois dans la littérature scientifique et dans la sphère politico-médiatique, où il devient le cheval de bataille des biologistes pour la défense du monde vivant. Ainsi, la biodiversité interroge et engage les valeurs que nous portons au monde vivant non humain. Les politiques de protection sont étroitement liées à ces valeurs : une vision utilitariste de la nature se concentrera sur la préservation des services écosystémiques, tandis qu'une approche biocentrique pourra se transcrire dans une politique de préservation des espèces.

La perte de biodiversité n'est donc pas seulement un constat mesurable, mais une crise de valeur, ne serait-ce que par les risques qu'elle fait courir à notre propre espèce. La notion de biodiversité, dans ses dimensions scientifique et politique, désigne la crise du monde vivant, c'est une notion à la croisée des savoirs, si bien qu'on a pu parler à son propos de « transdiscipline » (Couvét & Vandeveldé 2014). La biologie de la conservation (de la biodiversité) est une « discipline de crise » (Soulé 1985) et une discipline qui nous montre qu'il est vain de couper les sciences naturelles des sciences humaines et

[23] Pour une critique du flou épistémologique propre au concept, cf. Casetta & Delord (2014). Comme le note Jean Gayon dans la préface de cet ouvrage, il s'agit de comprendre comment « un mot somme toute vague et mal défini d'un point de vue scientifique s'est révélé fécond du double point de vue de la connaissance et de la pratique sociale » (Gayon 2014, p. 7). Pour une analyse du double effacement (politique et écologique) de la biodiversité dans son modèle managérial d'une gestion globale, cf. Devictor (2021).

sociales, puisque cette « science » engage dans sa pratique un dialogue étroit avec la « société » (Maris & Devictor 2014) : la biologie de la conservation est en tous les cas une *science impliquée* (Coutellec 2015) (cf. **chapitre 3**, encadré « Technique et technologie »).

La notion de biodiversité a donc un double caractère : à la fois descriptive – on peut mesurer la diversité – et normative – la diversité fait écho à une diversité de valeurs. Une première analogie peut être esquissée : de même que la biodiversité, la technodiversité est un concept à la fois descriptif et normatif. Ce qui est une autre manière de dire que la technologie relève des sciences impliquées, par opposition à l'idée de « sciences appliquées » (cf. **chapitre 3**). En mettant à mal l'idée d'un « *one best way* » scientifique qu'il suffirait d'appliquer, nos précédentes études de cas s'opposent à l'idée de la technologie comme science appliquée.

Le terme de « technodiversité » ne reconnaît pas seulement le caractère pluriel des techniques, il reconnaît le caractère normatif de chaque technologie. Il est employé de manière sporadique depuis les années 2000 (on ne le trouve pas par exemple dans Raynaud 2016), en écho évident au terme de biodiversité qui date, lui, des années 1980. Werner Rammert, par exemple, définit la technodiversité comme « diversité culturelle des pratiques techniques » (Rammert 2001, p. 175).

Récemment, le philosophe hong-kongais des techniques Yuk Hui a travaillé le concept de technodiversité en l'attachant à la notion de « cosmotechnique » (Hui 2016). La *cosmotechnie* désigne la pluralité des rapports culturels à la technique que sont susceptibles d'entretenir les différents systèmes anthropologiques. Elle nomme la relation entre la technologie et la localité, c'est-à-dire une recherche des lieux ou plutôt des milieux qui permettent à la technologie de se différencier. Il s'agit, pour Yuk Hui, de penser un « multitechnologisme », un peu à la manière dont l'anthropologue brésilien Eduardo Viveiros de Castro parle de « multinaturalisme » plutôt que de « multiculturalisme » : le terme de multiculturalisme suppose qu'une nature unique est maîtrisée par différentes cultures ; à l'inverse, le multinaturalisme signifie qu'il y a une pluralité de natures, dominée par une seule culture – la culture occidentale moderne (De Castro 2014). Lutter contre la logique uniformisante de la globalisation technologique suppose de se défaire des idoles de la modernité :

pas plus qu'il n'y a «L'Homme», il n'y a «La Technique», comme s'entendent à le poser à l'unisson technophiles et technophobes²⁴. Selon Hui (2019), la technodiversité est fondamentalement irréductible à toute systématisation²⁵.

Les propos de Yuk Hui prolongent ceux de Bernard Stiegler qui tentait, à la veille de sa mort, de refonder l'informatique théorique, sur la base même de ce concept de technodiversité (Stiegler 2020). Aujourd'hui, un programme de recherche européen comme NeST (*Networking Ecologically Smart Territories*) part de l'hypothèse que la diversification technologique est une clé pour réinventer une économie industrielle qui lutte contre l'entropie qui est au sens propre mortifère²⁶. Autrement dit, il pose que la technodiversité et la noodiversité (l'une dépendant de l'autre dans les technologies de l'esprit) sont décisives pour la biodiversité, c'est-à-dire pour la richesse et la résilience de la vie sous toutes ses différentes formes.

Dans une tout autre veine, et sans utiliser le terme, Michel Callon (1993) a montré qu'une des raisons essentielles qui justifie le financement public de la recherche scientifique et technologique est précisément dans ce maintien de la diversité (des réseaux scientifiques et technologiques) : la diversité est une valeur pour l'élaboration des sciences.

3.2] Biodiversité. Excursion darwinienne

La diversité est une propriété en soi nécessaire à la préservation des écosystèmes eux-mêmes. Un écosystème se définit comme une unité fonctionnelle capable de se maintenir, par le réseau d'inte-

[24] «Qui dit “cosmotechnique” dit donc pluralisation des mondes, dit centralité de l'élément éthique, dit attention au moindre geste, dit continuité fondamentale entre individu et univers, dit hétérogénéité des formes de vie, dit fin de la modernité comme unification-totalisation humaine sur l'axe du temps abstrait, dit deuil de la grande odyssée occidentale du progrès, dit démantèlement de la technologie comme constitution métastatique en système opératoire mondial des techniques les plus rentables, une fois celles-ci arrachées aux mondes dont elles proviennent» (Frey 2021, p. 20).

[25] Contrairement à la vision (idéaliste ou heideggerienne) du système technique, Yuk Hui montre (dans une optique simondonienne) que la genèse de la technicité est toujours multiple, car la technique est d'emblée cosmotechnique, ce pourquoi il demeure de l'incalculable en elle.

[26] <https://www.nestproject.eu/>

ractions qu'entretiennent les différentes populations d'êtres vivants qui le composent (Odum 2001). Un écosystème est donc toujours biodiversifié, fait et maintenu par une diversité d'interactions. Mais l'analogie entre vivants et techniques peut encore être poursuivie plus avant : la biologie nous offre en effet un modèle de la production de diversité. Parler d'optimisation, de recherche d'une solution optimale (façon *one best way*) a-t-il un sens en biologie adaptative ? La réponse à cette question est négative. Plutôt que de s'inspirer de la machine pour comprendre le vivant, il conviendrait plutôt de s'inspirer des modes de fonctionnement du vivant pour repenser la valeur de la diversité technique.

Contrairement à la vulgate spencérienne de la « survie des plus aptes » trop souvent répandue, le raisonnement darwinien intègre une critique de la perfection de l'adaptation. Dans le darwinisme, la *variation* (individuelle) est première par rapport à la *sélection* (artificielle ou naturelle) ; la sélection du « meilleur » trait n'est jamais *a priori* déterminée, mais toujours un résultat *a posteriori* de la variation qui s'opère par et en interaction avec le milieu. Il n'y a donc pas de meilleur caractère en soi, puisque les pressions de sélection, et *in fine* l'adaptation, sont relatives au milieu de la population qui ne cesse d'évoluer avec elle.

La sélection naturelle ne fait donc pas nécessairement converger une population donnée vers l'adaptation optimale. La notion de « paysage adaptatif » permet de l'illustrer (figure 1) : dans un tel paysage, la meilleure possibilité d'adaptation d'une population (la plus proche) n'est pas nécessairement la meilleure (en valeur absolue)²⁷.

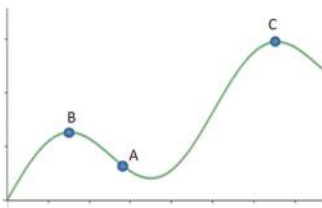


FIGURE 1. Paysage adaptatif. En ordonnée la fitness d'une population par rapport à un environnement, en abscisse le génotype ou phénotype de la population. Une population dont le génotype est réparti autour du point A ne peut pas « sauter » d'un pic à l'autre, l'évolution la fera converger vers le point B. La sélection naturelle avantagera les individus qui se trouvent légèrement à gauche de A (leur fitness est un peu plus grande) plutôt que ceux qui sont légèrement à droite. Avec le temps, la population évoluera donc vers B, même si C représenterait l'optimum absolu.

trouvent légèrement à gauche de A (leur fitness est un peu plus grande) plutôt que ceux qui sont légèrement à droite. Avec le temps, la population évoluera donc vers B, même si C représenterait l'optimum absolu.

[27] Cette notion de « paysage adaptatif », qui suppose celle de « fitness », a été très largement débattue. Cf. Wilkins & Godfrey-Smith (2009).

L'évolution, quand elle est un succès, n'est donc une optimisation que dans le sens d'une convergence progressive vers un optimum local. Celui-ci n'existe que relativement au milieu singulier que la population transforme et n'est pas intrinsèque à l'espèce.

Voltaire faisait dire à l'optimiste Pangloss dans *Candide*: «car tout étant fait pour une fin, tout est nécessairement pour la meilleure fin. Remarquez bien que les nez ont été faits pour porter des lunettes, aussi avons-nous des lunettes» (Voltaire 1759, p. 3). L'idéal du *one best way*, transposé à la biologie, pourrait ressembler au paradigme panglossien du *meilleur des mondes possibles*. Un tel programme a été sévèrement critiqué par Gould et Lewontin sous la figure de ce qu'ils nomment «pan-adaptationnisme»²⁸. Nous savons depuis que l'évolution suppose toujours quelque chose qui n'est pas encore adapté. À côté de l'adaptation par sélection naturelle, il faut laisser place à l'exaptation (cf. chapitre 5) et à la cooptation²⁹. En effet, la variabilité ou la diversité au sein d'une population donnée n'est pas que génétique ! La biodiversité peut aussi concerner la diversité phénotypique (diversité des caractères physiques, visibles) ; le phénotype n'est pas simplement le résultat mécanique de l'expression des gènes mais dépend des interactions de l'individu biologique avec son milieu au cours de sa vie. On peut parler alors de «plasticité phénotypique» pour désigner la variété de phénotypes que des organismes peuvent développer en fonction des milieux dans lesquels ils se trouvent. Aujourd'hui, des biologistes tels que David Pfennig supposent que cette plasticité phénotypique pourrait jouer un rôle

[28] Dans un article célèbre, deux éminents évolutionnistes darwiniens critiquaient le programme adaptationniste : Gould & Lewontin (1979).

[29] En 1982, Stephen J. Gould et Elisabeth Vrba proposent le terme d'exaptation pour définir des adaptations édifiées à partir de structures apparues chez un ancêtre, soit fortuitement, soit en tant qu'adaptation à des fonctions différentes changement imprévu de fonction. Par exemple, la plume, outil de régulation thermique, fut réorientée pour le vol chez les oiseaux. On parle d'*exaptation*, quand un caractère antérieurement façonné par la sélection naturelle pour une fonction particulière (une adaptation) est coopté pour un nouvel usage. On parle de *cooptation*, quand un caractère dont l'apparition ne peut pas être attribuée à l'action directe de la sélection naturelle (une non-adaptation) est coopté pour un usage actuel (Gould 2006).

crucial dans l'évolution biologique (Pfennig 2022, Pfennig & Ledón-Rettig 2009)³⁰.

Contre cette idée que l'adaptation conduirait à la solution optimale, Darwin lui-même a introduit l'hypothèse du «principe de divergence», c'est-à-dire l'idée selon laquelle la sélection naturelle fait évoluer les concurrents vers une plus grande dissemblance dans l'utilisation des ressources et les caractéristiques associées. Dans une lettre datée du 8 juin 1858, adressée à Joseph Hooker, quelques mois avant la parution de son grand livre (*L'Origine des espèces*, 1859), Charles Darwin écrit : «Le principe de divergence est, avec celui de sélection naturelle, la pierre angulaire [*keystone*] de mon livre»³¹ (cité par Kohn 1986, p. 256). Le principe de divergence serait donc le second grand principe darwinien (pour certains, le premier³²). Ce principe donne un sens évolutif à la diversité biologique et permet de réconcilier les niveaux d'organisation individuel et écosystémique entre eux. Darwin en donne la signification dans la citation suivante :

[P]lus les descendants d'une espèce quelconque deviennent différents [*diversified*] sous le rapport de la structure, de la constitution et des habitudes, plus ils sont à même de s'emparer de places nombreuses et très différentes dans l'économie de la nature, et par conséquent d'augmenter en nombre [*increase in numbers*] (Darwin 1982 [1859], vol. 1, p. 185).

La sélection naturelle a tendance à favoriser les formes les plus divergentes qui possèdent un avantage compétitif évident sur les formes moins différenciées, dans la mesure où elles sont plus susceptibles que ces dernières d'exploiter des ressources encore inutilisées

[30] Dans son laboratoire, avec son équipe, Pfennig tente de comprendre la manière dont la plasticité favorise indirectement la biodiversité en encourageant la persistance des espèces lorsqu'elles sont confrontées à des changements environnementaux rapides (tels que la présence d'un nouveau concurrent).

[31] La première formulation développée de ce principe de divergence est datée de 1855.

[32] Le philosophe Robert Brandon et le biologiste Daniel McShea ont proposé d'appeler «*Zero Force Law of Evolution*» (ZFEL) cette loi, qui relie le principe de variation à l'accroissement de diversité (McShea & Brandon 2010).

sur un même territoire. Autrement dit, le principe de divergence, induit par la sélection naturelle, a pour conséquence une augmentation de la quantité de vie possible sur un même territoire. Pour le dire simplement, plus il y a de diversité dans la nature, plus il y a de places dans la nature, et plus le potentiel évolutif est grand.

Un tel principe peut-il nous guider en matière de technologie ? L'analogie pourrait s'énoncer tout aussi simplement : plus il y a de diversité technologique, plus il y a de place pour les techniques ; et inversement, plus il y a d'uniformisation technologique, moins il y a d'innovation technologique possible.

3.3] La critique de la maximisation adaptative. De la biologie à la technologie

La philosophie des techniques de Gilbert Simondon nous offre un équivalent clé en main au principe darwinien de divergence. Cette philosophie est, à l'instar de celle de Canguilhem, une critique de l'adaptationnisme (encadré 4).

Encadré 4. Adaptation/adaptabilité

Les concepteurs ont tendance à oublier cette évidence darwinienne : plus on est adapté, moins on est adaptable. Il ne faut donc pas confondre l'adaptation et l'adaptabilité. La critique de l'automatisation (comme idéal de perfection) par Simondon relève de la même idée : l'automatisation peut concevoir des machines adaptées, mais elle est incapable en elle-même de produire des techniques adaptables. Parler d'adaptation au changement climatique n'a guère de sens, car ses effets sont largement inconnus ; en revanche, il est fondamental d'avoir des technologies *adaptables* pour y faire face.

Pour Simondon, le progrès technique n'a rien à voir avec une adaptation à un milieu donné et exclusif ; et il n'a cessé de pointer les dangers d'une suradaptation technique qui pourrait en réalité désadapter l'objet par rapport à un changement même léger survenu dans les conditions d'utilisation ou de fabrication³³. Pour lui, le progrès technique signifie, d'une part la résonance interne et le passage à la plurifonctionnalité au niveau des éléments, et d'autre

[33] Sur ces questions, cf. Silvia De Cesare (2022).

part la concrétisation ou la relation de causalité réciproque avec son « milieu associé » au niveau de l'individu technique (cf. encadré 4 du chapitre 2). De ce point de vue, on ne peut pas dire d'un objet technique qu'il est meilleur en soi, car il ne peut être dit tel que *par rapport à son milieu*. Par exemple, un moteur triphasé synchrone n'est meilleur qu'un moteur universel que dans un type déterminé de secteur (meilleur rendement et régularité). Or, l'objet technique est un point de rencontre entre un milieu technique et un milieu géographique. Prenons l'exemple du moteur de la locomotive : celui-ci doit pouvoir s'adapter à de multiples changements de régimes (démarrage à pleine charge, accélération, freinage), il doit s'adapter au milieu géographique, tout en étant aussi adapté au réseau électrique duquel il prend sa source d'énergie. Le moteur de la locomotive doit permettre de rendre compatible ces deux milieux, et du fait de cette contrainte, le moteur de la locomotive ne peut pas être aussi adapté au milieu technique que le moteur triphasé en usine ; ce dernier demande des conditions de fonctionnement trop restrictives, il ne pourrait faire face à la variabilité de régimes requise par le milieu géographique (Simondon 1989)³⁴. C'est pourquoi la notion d'adaptation est désuète :

La nécessité de l'adaptation non à un milieu défini à titre exclusif, mais à la fonction de mise en relation de deux milieux l'un et l'autre en évolution, limite l'adaptation et la précise dans le sens de l'autonomie et de la concrétisation. Là est le véritable progrès technique (Simondon 2011 [1989], p. 53).

[34] « L'invention constitue une adaptation qui n'est pas hypertélique lorsque son résultat intègre les conditions d'insertion de la machine dans le milieu ingénieusement (en favorisant la réception des informations fournies par le milieu) et parcimonieusement (en prélevant des ressources sans appauvrir le milieu). La diversité des solutions adoptées par différentes sociétés pour résoudre un même problème technique s'explique le plus souvent par une telle adaptation aux contraintes et aux ressources de leur environnement telles que l'état de leur culture (et des connaissances scientifiques) leur permettait de les objectiver. C'est pourquoi l'invention constitue une double adaptation : d'une part, l'invention répond à "l'exigence d'autocorrélation qui rend le procédé ou l'objet viable, non destructif par rapport à lui-même", et d'autre part, elle doit intégrer « les adaptations terminales, qui lui permettent de s'insérer dans le milieu et d'être dirigé par un opérateur ou par l'information qu'il reçoit ou qu'il prélève » (Bontems 2022, citant Simondon 2005, p. 229).

Ce que Simondon nomme la concrétisation de l'individu technique n'est pas conditionné par un milieu donné, comme dans une «suradaptation hypertélique»³⁵, mais au contraire conditionne son propre milieu technogéographique associé³⁶ (cf. encadré 4 du chapitre 2).

Selon Simondon, une amélioration des performances ne constitue pas toujours un progrès technique. La recherche de rendement maximal est une norme sociale qui peut se révéler contreproductive pour les techniques (à travers le risque de suradaptation) mais aussi pour les humains et les vivants de façon générale. Simondon condamne «la civilisation du rendement», pendant de la volonté de puissance qui est précisément en cause dans la crise écologique que nous connaissons. Vincent Bontems (2022), relisant Simondon, tire de sa philosophie un deuxième principe définissant le progrès technique, complémentaire de la concrétisation : «le principe de moindre puissance». Celui-ci se décline en trois dimensions : récupération des externalités, régulation de la consommation énergétique, recyclage technologique. Tous trois concourent au même objectif : intégrer dans l'invention technologique l'anticipation des désordres amenés par l'amplification de cette invention aux autres échelles que celle de son milieu associé. Ce principe permet d'introduire le carac-

[35] Simondon désigne la spécialisation exagérée des objets techniques par le terme biologique d'«hypertélie» (qui désigne des spécialisations adaptatives de certains traits qui sont «exagérées» au point de risquer d'être nuisibles pour l'organisme)

[36] «L'adaptation-concrétisation est un processus qui conditionne la naissance d'un milieu au lieu d'être conditionné par un milieu déjà donné. [...] On pourrait dire que l'invention concrétisante réalise un milieu techno-géographique [...], qui est une condition de possibilité du fonctionnement de l'objet technique. *L'objet technique est donc la condition de lui-même comme condition d'existence de ce milieu mixte*, technique et géographique à la fois. Ce phénomène d'autoconditionnement définit le principe selon lequel le développement des objets techniques est rendu possible sans tendance à l'hypertélie puis à la désadaptation ; l'hypertélie survient lorsque l'adaptation est relative à un donné existant avant le processus d'adaptation ; une telle adaptation court en effet après des conditions qui la devancent toujours, parce qu'elle ne réagit pas sur elles et ne les conditionne pas à son tour. L'évolution des objets techniques ne peut devenir progrès que dans la mesure où ces objets techniques sont libres dans leur évolution et non nécessités dans le sens d'une hypertélie fatale» (Simondon, 1989, p. 55-56)

tère historique de la valeur technique : un objet est dépassé « parce qu'il n'a pas d'avenir au regard des exigences de l'adaptation de l'humanité aux évolutions de son environnement global » (Bontems 2022, p. 100) (cf. au chapitre II, les « technologies zombies »). Ce second principe du progrès technique s'oppose rigoureusement au modèle de la scalabilité tel qu'on l'a défini en section 1 : il s'agit d'intégrer les relations d'échelles dans la technique par rétroaction (c'est-à-dire à partir de ce qu'on sait de ces relations), certainement pas la reproduction quantitative à plus grande échelle.

L'optimisation et la recherche de scalabilité peuvent fragiliser. Dans un livre récent, le biologiste Olivier Hamant (2022) remarque à quel point le biomimétisme est mal inspiré, car le propre du vivant est d'être sous-optimal. Le très faible rendement de la photosynthèse, que ce soit lors de la captation de l'énergie solaire ou lors de l'absorption du CO₂ par la rubisco, l'illustre parfaitement. La performance de la photosynthèse, dont il est inutile de rappeler ici qu'elle constitue notre condition de possibilité, n'est pas du tout optimisée. Le rendement de la photosynthèse quand on considère sa capacité à capter la lumière du soleil est de 1 %, c'est-à-dire bien moins qu'un panneau solaire (qui peut avoir un rendement de 20-30 %, voire jusqu'à 50 % dans certains cas) (cf. chapitre II, section 4, pour le détail de cet exemple). Ce que permet de comprendre cet exemple est que la résilience, soit la capacité d'un système à être robuste, adaptable et transformable, ne relève pas de l'optimisation, elle en est même le contraire. On peut ici rappeler l'exemple du déploiement du riz IR-8 en Indonésie : celui-ci illustre que la monoculture agro-industrielle est d'autant plus hyper-performante qu'elle est moins résiliente. Le concept de viabilité permet une réponse aux limites de l'optimisation : un système est viable dès lors que ses évolutions satisfont toujours un nombre donné de contraintes (les critères de maintien du système). La viabilité ne suppose donc pas la définition ou hiérarchisation d'une fonction-objectif comme c'est le cas en optimisation (Bernard 2011).

4] De la standardisation contre la technodiversité à la standardisation avec technodiversité

Dans les sections précédentes, nous avons vu que le « *one best way* » n'advient pas toujours et que le gain d'efficacité n'est pas une

mesure pertinente du progrès technique mais une norme sociale. Et nous avons montré la résistance de la diversité. Cette section prend le contrepied en interrogeant le contraire de la diversité, à savoir la standardisation. Mais comme nous allons le montrer, ce contraire n'est pas un contradictoire : les deux, standardisation et technodiversité, peuvent évoluer de concert.

Notre exemple précédent du chemin de fer n'attirait-il pas déjà notre attention sur le besoin de standardisation ou de normalisation ? Quel sens pourrait-il y avoir à défendre la diversité pour elle-même au détriment des normes ? Qui pourrait défendre l'idée que chaque téléphone portable devrait posséder un chargeur dédié mutuellement incompatible avec ceux des autres marques ? Faudrait-il blâmer la décision européenne qui a imposé l'USB-C en standard universel ? C'est l'évidence : la normalisation, pas plus que la scalabilité, n'est condamnable en soi.

Il n'y a pas d'industrialisation sans une certaine scalabilité, un passage à l'échelle et la standardisation qui l'accompagne. L'idée qui guide cette section est simple mais fondamentale, il y a une bonne et une mauvaise standardisation. Notre exemple de la guerre des écartements a suggéré que le standard ne faisait pas que s'opposer et détruire la diversité mais qu'il pouvait organiser aussi un espace de diversité. Pour le dire simplement, la mauvaise standardisation serait celle qui détruit systématiquement toute diversité, elle se confond donc avec l'uniformisation, tandis que la bonne standardisation, qui le distingue de l'uniformisation, serait celle qui peut devenir support et régulation d'une technodiversité bénéfique.

4.1] La standardisation ne se réduit pas à l'uniformisation

La standardisation de façon générale peut être décrite comme l'établissement d'une norme systématiquement appliquée dans le domaine qu'elle concerne. Cette norme pourra être le résultat *de facto* d'une généralisation par convenance, habitude, praticité d'un certain usage, ou bien le résultat d'une décision commune d'un certain nombre d'acteurs en position de rendre obligatoire un certain standard : norme *de jure*.

La réduction de diversité n'est qu'un but possible mais non nécessaire d'une standardisation. Tassey (2000), économiste au *National Institute of Standards and Technology* (institut rattaché

au Département du Commerce des USA), décrit la standardisation comme «un construit résultant d'un choix raisonné collectif et qui permet l'accord sur des solutions à des problèmes récurrents» (Tassej 2000, p. 588, notre traduction). Il dénombre quatre objectifs possibles à la standardisation : la réduction de diversité n'est que l'un d'entre eux ; on peut aussi viser une certaine qualité de l'élément standardisé, assurer un objectif de sécurité ou permettre une compatibilité ou interopérabilité. Ces objectifs peuvent se combiner à des degrés divers. Ainsi dans le cas du chemin de fer, les objectifs d'uniformisation et de compatibilité des réseaux étaient confondus ; le cas du riz en Indonésie était centré, en revanche, sur une standardisation par uniformisation comme condition pour une massification de la production.

La standardisation ne se limite donc pas à l'uniformisation, cette dernière n'en est qu'une forme particulière. Cette distinction est cruciale, en ce qu'elle permet de dépasser l'opposition apparente entre standardisation et diversité. La standardisation peut être interprétée comme une négociation, une reconfiguration de l'espace de diversité et de diversification possible. Notre argument est donc le suivant : la diversité accompagne toujours la standardisation, la standardisation aménage un espace de technodiversité.

4.2] La standardisation négocie et aménage un espace de technodiversité

Pour illustrer les différents régimes de standardisation, nous pouvons nous appuyer sur l'exemple de la certification des pratiques agricoles et de la culture du thé, développés par les sociologues Loconto & Demortain (2017). Ces derniers distinguent trois «moments» dans la standardisation : les standards en train de se faire, les standards en action et les standards en circulation.

(1) Le premier moment voit la réunion d'un certain nombre de parties prenantes pour l'établissement d'un standard. Ici se jouent deux enjeux : d'une part la construction de l'objectivité du standard ; d'autre part, la rencontre des intérêts divergents des parties prenantes réunies. Dans notre exemple précédent, la commission à l'étude de la standardisation de l'écartement des voies de chemin de fer organise ainsi à la fois un débat sur les bénéfices et risques d'un choix plutôt que d'un autre sur un plan technique (en termes

de performance, stabilité, sécurité) pour la définition d'une spécification technique objective, et tout à la fois une recherche d'accords entre les intérêts divergents des constructeurs de locomotives et ingénieurs des principales compagnies d'exploitation de chemin de fer, chacun voyant le coût ou le bénéfice pour sa propre maison de la future norme.

Les négociations autour de l'édification d'un standard sont également la négociation d'un espace de diversité possible. Cet espace de diversité peut se trouver aménagé en négatif dans le standard à travers ce qui sera écarté de celui-ci, non normalisé, et en positif, par exemple dans la définition de tolérances (bornages minimaux ou maximaux quand il s'agit de valeurs mesurables) ou dans l'adoption de formulations plus ou moins ouvertes. C'est ainsi que l'Acte parlementaire de 1846 statuant sur un écartement de 4 pieds 8,5 pouces arrose un espace de diversité en précisant expressément l'exception de la Great Western Railway et des régions qu'elle occupe, ainsi que pour les lignes en cours de construction. Des exemples de diversité ouverte en dehors des standards peuvent aussi se trouver quand le standard ne relève pas de la loi. Ainsi, Hatanaka *et al.* (2006) mettent en évidence la stratégie adoptée par certaines ONG, dans le domaine de l'agro-alimentaire notamment, de se positionner en décalage des standards conventionnels, en développant et promouvant leurs propres standards visant à faire émerger une offre de produits plus soutenables ou équitables dans leur production par exemple. Le label *FairTrade*, par exemple, veut promouvoir un commerce plus juste.

(2) Ce potentiel de diversité laissé ouvert par le standard sera exploré et investi dans l'étape de diffusion du standard au cours de laquelle les destinataires de celui-ci se l'approprièrent et le traduiront à leur propre contexte. Loconto & Demortain (2017) développent ainsi l'exemple de la standardisation dans la culture du thé où un premier standard (*Rainforest Alliance*) pour une culture soutenable du thé avait été formalisé en étroite collaboration avec Unilever, en prenant pour modèle leurs cultures au Kenya (car utilisant peu d'intrants chimiques). Pourtant, la mise en application de ce même standard dans ce même pays a entraîné une réinterprétation du standard. Comme les plantations étaient déjà conformes à la majeure partie des critères (elles ont d'ailleurs été certifiées dès

le lancement du standard), l'attention des locaux s'est cristallisée sur les points de divergence entre leurs pratiques et le standard, à savoir deux indicateurs : la conservation de la biodiversité (à travers la documentation des espèces autochtones) et la gestion des déchets (notamment le recyclage des bouteilles). C'est à travers ces deux aspects que le standard a fait sens pour les cultivateurs locaux... quand ils n'étaient pas prédominants dans la formulation initiale du standard, basé justement sur les pratiques kenyanes comme modèle. Les normes ont été redéfinies en fonction du milieu, faisant émerger une divergence inattendue dans le standard lui-même.

(3) Enfin, la dernière étape, celle de communication, concerne les évolutions ultérieures du standard, les amendements, redéfinitions, etc. Loconto & Demortain pressent les sociologues de la standardisation de ne pas négliger cette dernière étape car elle constitue un nouvel espace de négociation, d'évolution du standard, ou, tel que nous le comprenons, un nouveau temps où l'espace de diversité produit peut être reconfiguré. Poursuivant leur exemple de certification du thé, ils illustrent cet espace par la rencontre et la concurrence entre le standard *Rainforest Alliance* et la suite de standards UTZ préoccupée notamment par la qualité des systèmes de traçabilité. Finalement, les deux standards ont été combinés en un seul en 2018. Cette approche sociologique du standard, cet espace de possibles qui lui préexiste et qu'il ne fait que reconfigurer sans jamais le détruire totalement, amène Hatanaka *et al.* (2006) à substituer au couple standardisation-diversification un autre couple : standardisation différenciée et différenciation standardisée. La standardisation différenciée désigne le cas où un standard existe mais qui laisse ouvert une certaine diversité ou le cas où plusieurs standards cohabitent (comme dans le cas de l'appropriation différenciée du standard par les producteurs de thé kenyans ou dans la coexistence des standards *Rainforest Alliance* et UTZ). La différenciation standardisée désigne le cas où l'édiction d'un standard vise à différencier, distinguer certains produits (c'est la stratégie par exemple du label *FairTrade* qui cherche à différencier par son label les produits issus d'un commerce plus juste). Standardisation et diversité, donc, se conjuguent. L'illusion serait de croire que le standard en a fini avec la diversité. Ici, il relance la diversification, par émergence de nouveaux standards, par différenciation des pra-

tiques à l'intérieur d'un espace standardisé, que l'on aurait tort de prendre pour un espace uniforme³⁷.

Ces cas relèvent tous du domaine de l'agro-alimentaire, avec des standards visant des exigences de qualité. Mais cette distinction entre standardisation différenciée et différenciation standardisée est généralisable à d'autres formes de standards, dans d'autres domaines techniques. Prenons deux exemples qui relèvent des normes de sécurité, avant d'examiner les standards d'interopérabilité.

Concernant la sécurité, un exemple de différenciation standardisée peut être trouvé dans la normalisation de la signalisation du réseau ferroviaire. Le cas simple de la signalisation de la bifurcation (devant indiquer la direction, si la voie est libre, si nécessité ou non de ralentir ou de marquer un arrêt) a vu le développement de trois écoles principales dans le courant du XIX^e siècle (Wurmser 2003). L'Angleterre a posé un premier standard et c'est à la fois en s'inspirant mais aussi en se différenciant que la France et l'Allemagne ont construit chacune leur propre système. Les deux pays reprochent notamment à leur voisin d'outre-Manche un manque de visibilité du signal de voie libre et une absence d'indications de la vitesse recommandée. Chaque standard est donc construit par différenciation par rapport à son voisin, cherchant, ici, à pallier les faiblesses perçues.

Mais le champ de la sécurité nous offre aussi des exemples de standardisation différenciée. Nous pouvons ainsi considérer les normes de sécurité en matière de prévention d'incendie établies pour la construction de l'Eurostar (Brun 2003). En matière de prévention des risques d'incendie, il n'existait pas de législations supranationales à l'époque. Les travaux de l'Eurostar ont été l'occasion de la rencontre entre normes de sécurité françaises et anglaises. Pour éviter les délais importants qu'aurait nécessité la construction d'une nouvelle norme spécifique, il a finalement été décidé que les normes pour l'Eurostar laissent le choix aux fabricants de suivre les recommandations françaises ou anglaises selon leur localisation, et

[37] Voir également sur le sujet les travaux de Lawrence Busch (2011), ou le cas d'étude développé par Cornelia Flora *et al.* (2012) sur les standards dans l'agro-écologie.

donc selon les normes desquelles ils étaient familiers. Le système de normes de l'Eurostar a donc permis la différenciation à l'intérieur d'un espace standardisé.

Le dernier exemple relève des standards pour l'interopérabilité. Nous sommes ici dans le domaine par excellence où la standardisation n'implique pas une destruction de la diversité et uniformisation, mais au contraire une organisation de cette diversité.

4.3] La standardisation, dans l'interopérabilité, supporte la technodiversité

Prenons l'exemple même d'un projet de conception, ici en ingénierie mécanique, en nous intéressant notamment à la collection de logiciels mobilisés. La technodiversité apparaît ici comme une donnée du milieu de conception lui-même. De fait, le processus de conception d'un système technique complexe requiert une variété d'acteurs de différents métiers et de logiciels. On s'attachera ici au cas de l'articulation du bureau de simulation avec le bureau d'études (figure 2).

Schématiquement, le bureau d'études est chargé du dessin et dimensionnement des différentes pièces et assemblages qui composeront le produit du projet. Le bureau de simulation simule informatiquement le comportement du produit complet ou d'un sous-système de celui-ci pour vérifier sa conformité par rapport aux spécifications techniques définies en amont de la conception. Assez simplement, cela pourra consister à vérifier la tenue mécanique de chaque pièce (qu'elle ne rompe pas), vérifier l'aérodynamisme du profil extérieur du

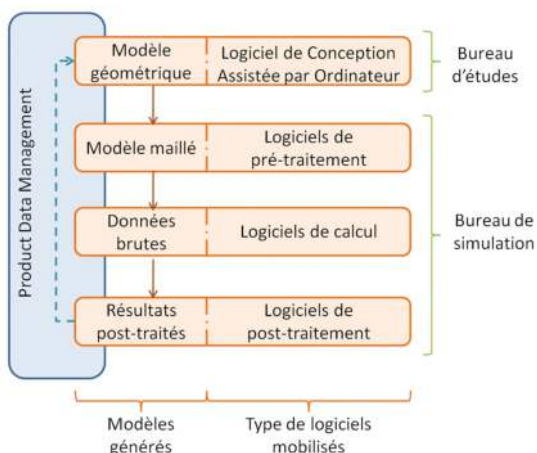


FIGURE 2. Représentation schématique d'un processus de simulation.

système, la réponse d'un assemblage à un régime vibratoire, estimer la résistance à la fatigue mécanique, le comportement du système en cas de crash... La liste de simulations à effectuer varie en fonction du projet et peut être longue ! En cas de non-conformité, la conception doit être revue et la simulation réeffectuée.

Les bureaux d'études aujourd'hui s'appuient largement sur des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur) et produisent des modèles géométriques 3D du futur produit fini. Ceux-ci doivent donc être communiqués au bureau de simulation qui manipule pour sa part des logiciels spécialisés pour le calcul numérique. On citera, par exemple, en termes de grandes familles de logiciels, ceux pour le calcul de structures (étude du comportement mécanique des solides) et ceux pour le calcul de fluides. Ces logiciels doivent donc pouvoir travailler à partir des fichiers CAO et produisent leurs propres fichiers. Certains logiciels intègrent des outils pour l'ensemble du processus de simulation mais on pourra aussi utiliser des logiciels différents pour les différentes étapes de simulation. On distinguera alors les logiciels de prétraitement qui préparent les modèles pour le calcul de simulation (réalisation d'un maillage à partir du modèle géométrique) ; les logiciels de calcul qui effectuent la simulation en elle-même et génèrent des résultats bruts, très difficilement lisibles par un humain directement ; les logiciels de post-traitement qui permettent l'interprétation, la mise en forme et l'analyse des résultats bruts.

Comment faire avec cette diversité ? Dans de petites organisations, le passage « de main en main » ou par le biais d'un réseau partagé peut suffire à la gestion et sauvegarde de ces données et des révisions de CAO et simulation. Néanmoins, les entreprises de plus grande ampleur, mobilisant de larges équipes projet ont recours à des logiciels PDM (*Product Data Management*). Ceux-ci sont dédiés à la gestion de l'ensemble des données qui se rattacheront au projet, tout le long de celui-ci (donc de l'avant-projet à la fabrication). On attend donc de ces logiciels qu'ils soient capables de prendre en charge les spécifications techniques, les fichiers CAO et de simulation, de rendre compte de leur lien (quel fichier CAO est utilisé pour quelle simulation ? Quel critère de spécification technique est testé par quelle simulation ?), des révisions effectuées (système de *versioning*) et dans l'idéal une trace du pourquoi de la révision

(une simulation invalidait-elle un choix de conception ? Laquelle ?). Ajoutons à cela un dernier niveau de complexité : en ingénierie concourante³⁸, le bureau d'études n'attendra pas les conclusions du bureau de simulation pour continuer à avancer sur les modèles CAO. Quand les conclusions des calculs numériques tombent, elles pourraient donc être déjà obsolètes... Savoir dans quelle mesure elles le sont est donc crucial.

Une entreprise particulière constitue donc pour son travail de conception une palette particulière de logiciels pouvant provenir d'éditeurs différents. Sur cette palette, on dénombre de façon générale un PDM, au moins un logiciel CAO et une gamme plus ou moins grande de logiciels de simulation. La constitution de cette palette et son évolution seront influencées par les besoins spécifiques de l'entreprise (besoin d'un logiciel plus ou moins pointu en simulation de fluides par exemple), mais aussi par l'histoire de l'entreprise. Là, apparaît une autre forme de dépendance au sentier. Il y a d'abord la problématique de rétrocompatibilité qui exige de pouvoir conserver la possibilité de consulter les archives projet. Mais cette dépendance tient aussi aux compétences et habitudes développées par les concepteurs : les logiciels de CAO, pour ne citer qu'eux, requièrent des années pour en devenir expert ; changer d'outil est donc potentiellement une perte considérable de compétences. Enfin le coût financier, humain et matériel que demanderait la migration conduit à façonner des trajectoires historiques et des milieux singuliers. C'est le cas tout particulièrement d'un changement de solution PDM : en plus du coût d'achat de la solution, cela pourrait demander des modifications de l'infrastructure réseaux de l'entreprise, un long processus de migration des données, une reformation et un accompagnement de la totalité du personnel... En ce sens, se constitue un milieu de conception singulier par cette palette singulière de solutions logiciels, adjointe aux savoir-faire et processus propres à l'entreprise.

L'interopérabilité assure la cohérence de ce milieu de conception diversifié, en permettant un transfert de données aussi fluide que

[38] L'ingénierie concourante désigne une méthode dans laquelle les différentes équipes impliquées seront mobilisées simultanément sur le projet plutôt que successivement.

possible d'un logiciel à l'autre. Dans le domaine du logiciel, l'interopérabilité se définit comme «la capacité de deux systèmes (ou plus) à communiquer, coopérer et échanger des services et données, et ce quelles que soient les différences de langages, d'implémentations, d'environnement d'exécution et de modèles d'abstraction» (Wegner 1996, p. 285, notre traduction).

Au niveau sémantique, elle peut être réalisée de trois façons : par intégration, unification ou fédération (Elheni-Daldoul *et al.* 2013). L'intégration repose sur une standardisation uniformisante : elle suppose le partage d'un modèle de données standard par tous les systèmes logiciels. L'unification suppose l'existence d'un standard mais à un plus haut niveau : chaque système établit alors la conversion entre son propre format et ce standard, qui servira en quelque sorte de référence intermédiaire. Le format de fichier STEP est sans aucun doute l'exemple le plus connu, défini par la norme ISO 10303. Tout logiciel CAO et de prétraitement en simulation peut prendre en charge un tel format de fichiers. La fédération, quant à elle, fonctionne sur la construction d'un mapping ad hoc pour faire dialoguer deux systèmes d'information.

L'interopérabilité prend donc pour point de départ des systèmes hétérogènes. Combinant intégration, unification et fédération, l'interopérabilité s'articule autour d'une certaine standardisation mais qui reconfigure cet espace de diversité, sans que ce remodelage opère nécessairement une réduction. Elle ne s'oppose donc pas à la technodiversité, qui est ici nécessaire à l'activité de conception, mais elle la préserve et l'organise. Ici, la standardisation participe et conditionne la constitution de ce que l'on a appelé un «milieu de conception» singulier. Elle est à la fois support de la diversité (ici logicielle) qui fait la singularité de ce milieu mais aussi possibilité de la constitution d'une diversité de milieux, donc, de technodiversité.

En guise d'ouverture, le numérique offre sans doute pléthore d'exemples d'articulation singulière entre diversité et standardisation. Comment, en effet, faire communiquer deux machines sans partage d'un standard commun ? Dans le cas du web, l'interopérabilité est une problématique centrale pour structurer un espace de diversité des usages, et in fine, elle engage la question de la liberté individuelle d'accès et d'usage du web. En témoigne un récent plaidoyer signé par quelque 75 organisations diverses réclamant l'inte-

ropérabilité des «géants du web»³⁹ : pour des acteurs aussi puissants que les GAFAM, limiter ou interdire l'interopérabilité est un levier de pouvoir important pour assurer la fidélité de leurs utilisateurs (en l'absence d'interopérabilité, quitter une plateforme de réseau social signifie quitter son réseau de contacts) et affermir leur position de domination sur le web en rendant plus ardu l'émergence et le développement d'alternatives à leurs plateformes.

5] Conclusion

La première loi de la physique mathématique moderne, celle de la chute des corps, formulée en 1604 par Galilée, suppose de faire abstraction de la résistance des milieux (des frottements de l'air). Mais en technologie, on ne peut pas faire abstraction des milieux.

Or, telle que nous l'avons présentée, la recherche du *one best way* fait abstraction des milieux comme elle fait abstraction de la *praxis* et de la *mêtis* ; elle est donc antithétique d'une conception orientée milieux. Lorsque le *one best way* se prétend reproductible en tout lieu, il oublie tout simplement ceci que le *lieu* dont il parle n'existe pas, c'est le *partes-extra-partes* de l'espace cartésien, et en aucun cas le *milieu* (naturel *et* culturel, physique *et* social, biologique *et* technique) dans lequel s'insère toute conception, tout design, toute ingénierie.

Nous avons dessiné plusieurs figures du *one best way* et illustré certains de leurs échecs. La première était celle du planificateur qui succombe au design de la scalabilité et à l'illusion selon laquelle il n'y a entre le laboratoire et la grandeur nature qu'une différence d'échelle. La seconde était d'inspiration économique plutôt que biologique et affirmait que parmi la diversité des innovations incrémentales, c'est toujours la meilleure qui est choisie par un processus de sélection optimale.

Dans les deux cas, ce qui résiste au *one best way*, c'est l'idée de technodiversité. Dans le premier cas, la technodiversité s'oppose au *one best way* comme la variation s'oppose à l'uniformisation, comme le local s'oppose au global. Dans le second cas, la technodiversité s'oppose à l'adaptacionnisme, à la suradaptation technique.

[39] La lettre commune en question : *La Quadrature du Net* (2019).

Il ne s'agit évidemment pas de prôner un retour naïf à la diversité artisanale, et nous devons donc penser la technodiversité en contexte d'industrialisation. Or l'industrialisation suppose la standardisation, ce pour quoi il nous était indispensable de montrer que la standardisation ne signifie pas l'uniformisation et n'interdit pas la diversification, elle suppose au contraire une reconfiguration de la technodiversité : reconfiguration de l'espace extérieur au standard (possiblement investigué dans un effort de démarcation), reconfiguration de l'espace de diversité possible intérieure au standard dans sa traduction dans chaque situation qu'il concernera, et reconfiguration et ouverture de nouveaux milieux.

La distinction de la standardisation et de l'uniformisation que nous avons proposée, qui est une autre manière de dire la connivence entre standardisation et différenciation, se retrouve dans chaque situation d'innovation.

La technodiversité est un concept récent qui demeure largement encore à construire et à préciser. La technodiversité est à la fois un fait (comme dans le cas des pratiques locales de l'industrie du ferroviaire), une condition de possibilité (ce sans quoi il n'y a plus d'évolution technique possible), et une valeur politique (ce qu'il faut imposer, contre la monoculture technologique). L'erreur première du raisonnement *one best way* n'est pas seulement de croire que l'on peut mesurer celui-ci de manière absolue, elle est de succomber au technosolutionnisme. Celui-ci accompagne le *one best way* lorsqu'il pense que les choix technologiques ne s'opèrent que pour des raisons techniques (et non historiques, économiques ou politiques). L'erreur première du technosolutionnisme est de réduire la technologie à une version éthérée de la *technè* et de n'admettre qu'une forme et une seule de rationalité technicienne. La technodiversité dit précisément l'inverse.

Défais-toi de l'idée de progrès unidirectionnel, n'essaie pas de trouver le one best way, et construit une nouvelle axiologie, un nouveau système de valeurs technologiques qui place en son centre l'exigence de technodiversité.

Pour aller plus loin

Evgeny Morozov, *Pour tout résoudre, cliquez ici ! L'aberration du solutionnisme technologique*, Fyp, 2014.

C'est dans cet ouvrage qu'a été proposé le concept de «solutionnisme technologique» en premier lieu. Morozov développe à partir de nombreux exemples un regard critique sur les entreprises et discours tenus émanant notamment de la Silicon Valley à propos des technologies du numérique (objets connectés, Internet, smartphone, etc.). Il montre en particulier leur propension à décrire ces technologies comme solutions «miracles» à divers problèmes sociétaux, faisant fi du caractère politique et social de ces problèmes comme de leurs solutions.

Olivier Hamant, *La Troisième voie du vivant*, Odile Jacob, 2022.

Olivier Hamant est biologiste, spécialiste des plantes. Au cours de ses années de recherche, il a observé comment, à maintes reprises, les phénomènes physiologiques des végétaux déjouaient ses hypothèses, allant à l'encontre de ses intuitions communes. Son diagnostic est le suivant : le vivant ne fonctionne pas selon des processus optimisés mais au contraire sous-optimaux ; et de ce caractère sous-optimal, le vivant tire ses capacités de résilience, d'adaptation. À travers une multitude de courts exemples, Hamant liste différents traits sous-optimaux du monde vivant et montre symétriquement comment cette même sous-optimalité existe dans nos sociétés humaines et est même bénéfique !

Fanny Lopez, *L'Ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*, Métis Presses, 2019 et *À bout de flux*, Divergences, 2022.

Fanny Lopez réalise une histoire des infrastructures énergétiques à la fois architecturale, environnementale et politique. Elle analyse les conséquences de la construction du réseau électrique : la distanciation entre production et consommation, ceci en prise avec l'idée de «ville intelligente» et des politiques de libéralisation. Dans l'optique d'une réappropriation civique des infrastructures électriques, Lopez étudie les différentes modalités de déconnexion possible, de micro-systèmes techniques, bref, de transformations de l'organisation des infrastructures réseau. C'est toujours dans l'optique d'une réappropriation du réseau électrique que se situe son dernier livre (le second ici mentionné). Lopez plaide ainsi pour une «redirection» radicale du système électrique (le double du système numérique) qui passerait par la déprivatisation, la diversification et la territorialisation. Son livre ouvre des pistes pour bifurquer vers de nécessaires «communs électriques».

Lawrence Busch, *Standards. Recipes for reality*, MIT Press, 2011

L'auteur retrace une histoire des normes formelles comme instruments de pouvoirs et notamment la façon dont les sciences modernes se trouvent

liées à cette histoire, participant au projet «moralo-technique» d'une standardisation qui ne concerne pas seulement les choses mais aussi les personnes. Les standards, objets de négociations, ne structurent pas que le monde matériel mais également la vie sociale et nous-mêmes.

James C. Scott, *L'Œil de l'État. Moderniser, uniformiser, détruire*, La Découverte, 2021.

Ce livre a grandement inspiré la première section de ce chapitre et ses références. Nous nous permettons de reproduire sa quatrième de couverture : «Pourquoi, malgré des intentions parfois sincères et orientées vers le bien-être de leurs populations, les États modernes les ont-ils si souvent malmenées, voire meurtries ? Pourquoi, malgré les moyens colossaux mis en œuvre, les grands projets de développement ont-ils si tragiquement échoué et ravagé l'environnement ? Dans cette recherche foisonnante, James Scott démonte les logiques bureaucratiques et scientifiques au fondement de ces projets «haut-modernistes», poussant à toujours plus de lisibilité et de contrôle sur la nature et les sociétés humaines. À partir d'une large palette d'études de cas allant de la foresterie scientifique à la création des premiers recensements et des noms propres, de la doctrine révolutionnaire de Lénine à celle de Le Corbusier en matière d'urbanisme, et de la collectivisation de l'agriculture soviétique aux politiques de villagisation en Tanzanie et ailleurs, Scott dénonce ces entreprises de planification autoritaire qui finissent par appauvrir et étouffer le monde physique et social. En appuyant leur pouvoir sur des formes de classification, de standardisation et d'abstraction, ces projets tendent tous à négliger les mécanismes et les processus informels d'ajustement pourtant essentiels à la préservation d'ordres sociaux viables. Ils échouent aussi car ils marginalisent les savoirs locaux de celles et ceux qu'ils ciblent. À l'encontre de ces approches autoritaires centralisées et surplombantes, Scott défend le rôle de formes de savoirs plus modestes, étroitement liées à l'expérience pratique et davantage capables d'adaptation au gré des circonstances.»

Bibliographie

- ABBOTT Martin L. & FISHER Martin T. (2015), *Art of Scalability: The Scalable Web Architecture, Processes, and Organizations for the Modern Enterprise*, Addison-Wesley Professional.
- ADAS Michel (2015), *Machines as the Measure of Men*, Cornell University Press.
- BARCIESI Dominique & KESSENTINI Sameh (2020), *Initiation à l'optimisation. Métaheuristiques : problèmes à variables continues*, Ellipses.
- BEAUBOIS Vincent & PETIT Victor (2018), "Design Made in France : Perspectives on 'Industrial Aesthetics' (1951–1984) ", in Sacha Loeve et al. (ed.) *French Philosophy of Technology*, Springer, p. 345-359.

- BERNARD Claire (2011), *La Théorie de la viabilité au service de la modélisation mathématique du développement durable: application au cas de la forêt humide de Madagascar*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- BIDET Alexandra (2010), «Qu'est-ce que le vrai boulot? Le cas d'un groupe de techniciens», *Sociétés contemporaines* 78(2), p. 115-135.
- BONTEMS Vincent (2022), «Eco-technologie: entre exo-transcendance et rétro-scalabilité. Le principe de moindre puissance d'après Simondon», in Jean-Hugues Barthélémy & Ludovic Duhem (dir.), *Écologie et technologie. Redéfinir le progrès après Simondon*, Éditions Matériologiques, p. 31-47.
- BRUN Daniel (2003), «Logique de projet et normalisation: comment a été traité le cas concret d'Eurostar dans un domaine essentiel: les normes anti-incendie», *Revue d'histoire des chemins de fer* 26, AHICF, p. 147-152.
- BUGOW Karin (2021), *The Role of Multinational Corporations in the Green Revolution, 1960s and 1970s*, Jacobs University, Bremen.
- BUSCH Lawrence (2011), *Standards: Recipes for Reality*, The MIT Press.
- CALISTE Lisa & CARNINO Guillaume (2022), «Qu'est-ce que l'industrie? Qualité, territoires et marchés sur la longue durée», *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines* 17, p. 219-242.
- CALLON Michel (1994), "Is Science a Public Good?" Fifth Mullins Lecture, Virginia Polytechnic Institute, 23 March 1993. *Science, Technology, & Human Values* 19(4), p. 395-424.
- CARON François (1998), «La naissance d'un système technique à grande échelle. Le chemin de fer en France (1832-1870)», *Annales* 53(4), p. 859-885.
- CASSETTA Elena (2021), «La biodiversité: construction sociale ou concept scientifique?», in Ely Mermans & Antoine C. Dussault (dir.), *Protéger l'environnement. De la science à l'action*, Éditions Matériologiques, p. 53-81.
- CASSETTA Elena & DELORD Julien (2014), *La Biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques*, Éditions Matériologiques.
- CHAKROUN Leïla (2020), «La permaculture au sein des dynamiques territoriales: leviers pour une mésologisation de l'agriculture suisse», *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* 11(1), Réseau «Développement durable et territoires fragiles».
- CLERC Denis (2010), «Un penseur "contre-productif?"», *Esprit* 8-9, p. 126-135.
- CLOT Yves et al. (2021), *Le Prix du travail bien fait. La coopération conflictuelle dans les organisations*, La Découverte.

- COHEN Aurélien Gabriel (2017), «Des lois agronomiques à l'enquête agro-écologique. Esquisse d'une épistémologie de la variation dans les agro-écosystèmes», *Tracés. Revue de Sciences humaines* (33)33, p. 51-72.
- COUTELLE Léo (2015), *La Science au pluriel. Essai d'épistémologie pour des sciences impliquées*, Éditions Quæ.
- COUVET Denis & VANDEVELDE Jean-Christophe (2014), «Biodiversité ordinaire: des enjeux écologiques au consensus social», in Elena Casetta & Julien Delord (dir.), *La Biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques*, Éditions Matériologiques, p. 183-208.
- DARWIN Charles (1982) *L'Origine des espèces au moyen de la sélection naturelle* [1859], trad. fr. sur la 6^e éd., Edition du Centenaire, 2 vol.
- DAVID Paul A. (1985), "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review* 75(2), p. 332-337.
- DE CASTRO Eduardo Viveiros (2014), «Perspectivisme et multinaturalisme en Amérique indigène», *Journal des anthropologues* 138-139, p. 161-181.
- DE CESARE Sylvia (2022), «L'idée de progrès chez Simondon: un prisme conceptuel pour envisager les relations entre technologie et écologie», in Jean-Hugues Barthélémy & Ludovic Duhem (dir.), *Écologie et technologie. Redéfinir le progrès après Simondon*, Éditions Matériologiques, p. 31-47.
- DEMORCY Didier (2021) «Technodiversités génératives - Entretien avec Didier Demorcy», *lundimatin* n° 276, 22 février 2021, lundi.am/Technodiversites-generatives. (Une première version de cet entretien, mené par l'anthropologue Livia Cahn, est parue dans la revue *La Mauvaise herbe* de l'Université populaire d'Anderlecht, universitepopulairedanderlecht.be/index.php/revues.)
- DETIENNE Marcel & VERNANT Jean-Pierre (2018), *Les Ruses de l'intelligence* [1974], Flammarion.
- DEVICTOR Vincent (2021), *Gouverner la biodiversité ou comment réussir à échouer*, Éditions Quæ.
- DJURFELDT Göran (2018), "Green revolution", in *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, Elsevier, p. 147-151.
- ELHENI-DALDOUL Dorsaf et al. (2013), "Information Systems' Interoperability: Focus on PLM Challenges", in Christos Emmanouilidis, Marco Taisch & Dimitris Kiritsis (eds), *Advances in Production Management Systems: Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*, Springer, p. 184-191.
- ESPAGNOL Sandrine & LETERME Philippe (2010), *Elevages et environnement*, Educagri.
- FERDINAND Malcolm (2019), *Une écologie décoloniale. Penser l'écologie depuis le monde caribéen*, Seuil.
- FITZGERALD Deborah (2003), *Every Farm a Factory: The Industrial Ideal in American Agriculture*, Yale University Press.

- FREY Julius (2021), «Préface», in Yuk Hui, *La Question de la technique en Chine*, Divergences, p. 5-51.
- FRIEDMANN Georges (1964), *Le Travail en miettes*, Gallimard.
- GAYON Jean (2014), «Préface», in Elena Casetta & Julien Delord (dir.), *La Biodiversité en question. Enjeux philosophiques, éthiques et scientifiques*, Éditions Matériologiques, p. 3-12.
- GOULD Stephen J. (2006), *La Structure de la théorie de l'évolution* [2002], Gallimard.
- GOULD Stephen J. & LEWONTIN Richard C. (1979), "The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme", *Proceedings of the Royal Society of London B* 205, p. 581-598.
- GRAMSCI Antonio (1948), «Américanisme et fordisme», in *Cahiers de prison*, Einaudi.
- HAMANT Olivier (2022), *La Troisième voie du vivant*, Odile Jacob.
- HARAWAY Donna (2015), "Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin", *Environmental Humanities* 6(1), p. 159-165.
- HARAWAY Donna *et al.* (2016), "Anthropologists Are Talking – About the Anthropocene", *Ethnos* 81(3), p. 535-564.
- HARGROVE Tom & COFFMAN W Ronnie (2016), "Breeding History", *Rice Today. Special supplement focusing on IR8*.
- HATANAKA Maki *et al.* (2006), "Differentiated Standardization, Standardized Differentiation: The Complexity of the Global Agrifood System", *Research in Rural Sociology and Development* 12, p. 39-68.
- HETTEL Gene (2016), "IR8 - a rice variety for the ages", *Rice Today. Special supplement focusing on IR8*.
- HUESEMANN Michael & HUESEMANN Joyce (2011), *Techno-Fix: Why Technology Won't Save Us or the Environment*, New Society Publishers.
- HUI Yuk (2016), *The Question Concerning Technology in China: An Essay in Cosmotechnics*, Urbanomic.
- HUI Yuk (2019), *Recursivity and Contingency*, Rowman & Littlefield.
- ISAAC Larry W *et al.* (1994), "Analyzing Historical Contingency with Formal Methods: The Case of the 'Relief Explosion' and 1968", *Sociological Methods & Research* 23(1), p. 114-141.
- JACQMIN François (1868), *De l'exploitation des chemins de fer*, Garnier.
- JOURNAL OFFICIEL SÉNAT (2002), «Côté de circulation des TGV en Alsace-Moselle», p. 1276, senat.fr/questions/base/2001/qSEQ011237402.html.
- KANIGEL Robert (2005), *The One Best Way*, MIT Press.
- KULA Witold (1984), *Les Mesures et les hommes*, Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
- KUSTERER Kenneth C. (1978), *Know-How on the Job: The Important Working Knowledge of 'Unskilled' Workers*, Westview Press.

- LA QUADRATURE DU NET (2019), «Pour l'interopérabilité des géants du Web : lettre commune de 75 organisations», laquadrature.net/2019/05/21/pour-linteroperabilite-des-geants-du-web-lettre-commune-de-45-organisations.
- LAMMING Clive (2003), «Écartement et gabarit : la lente et difficile émergence de normes fondamentales», *Revue d'histoire des chemins de fer* (26), p. 43-67.
- LE MONDE AVEC AFP (2019), «À l'approche du Brexit, les douaniers français poursuivent leur "grève du zèle" à Calais», *Le Monde*, 14 mars.
- LEIGH G. Jeffery (2004), "Haber-Bosch and Other Industrial Processes", in Barry E. Smith, Raymond L. Richards & William E. Newton (eds), *Catalysts for Nitrogen Fixation: Nitrogenases, Relevant Chemical Models and Commercial Processes*, Springer, p. 33-54.
- LOCONTO Allison Marie & DEMORTAIN David (2017), "Standardization as Spaces of Diversity", *Engaging Science, Technology, and Society* 3, p. 382-392.
- LOPEZ Fanny (2013), «Le réseau énergétique en projet», *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine* 28, p. 25-36.
- LOPEZ Fanny (2018), «Keep the lights on! La décentralisation énergétique à Londres», in Gilles Lepasant (ed.), *Énergies nouvelles, territoires autonomes?*, TransAireS, Presses de l'Inalco, p. 29-62.
- LOPEZ Fanny (2019), «L'effondrement des grandes infrastructures : une opportunité?», *Multitudes* 77(4), p. 70-77.
- MAHONEY James & SCHENSUL Daniel (2009), "Historical Context and Path Dependence", in Robert Goodin & Charles Tilly (eds), *The Oxford Handbook of Contextual Political Analysis*, Oxford University Press, p. 454-471.
- MAIER Charles S. (1970), "Between Taylorism and Technocracy: European ideologies and the vision of industrial productivity in the 1920s", *Journal of Contemporary History* 5(2), p. 27-61.
- MARGLIN Stephen A. (1990), "Losing Touch: The Cultural Conditions of Worker Accommodation and Resistance", in Frédérique Marglin Apffel & Stephen A. Marglin (eds), *Dominating Knowledge: Development, Culture, and Resistance*, Oxford University Press, p. 217-282.
- MARIS Virginie & DEVICTOR Vincent (2014), «La biologie de la conservation. De la théorie à la pratique et retour», in *Précis de philosophie de la biologie*, De Boeck Supérieur, p. 135-149.
- MARKOLF Samuel A. *et al.* (2018), "Interdependent Infrastructure as Linked Social, Ecological, and Technological Systems (SETSs) to Address Lock-in and Enhance Resilience", *Earth's Future* 6(12), p. 1638-1659.
- MAYR Ernst (1992), "Darwin's Principle of Divergence", *Journal of the History of Biology* 25(3), p. 343-359.

- MCSHEA Daniel W. & BRANDON Robert N. (2010), *Biology's First Law: The Tendency for Diversity and Complexity to Increase in Evolutionary Systems*, University of Chicago Press.
- MINTZ Sidney W. (1986), *Sweetness and Power: The Place of Sugar in Modern History*, Penguin Books.
- MOROZOV Evgeny (2014), *Pour tout résoudre, cliquez ici! L'aberration du solutionnisme technologique*, Fyp.
- NEST PROJECT (n.d.), NEST Project, nestproject.eu/.
- NOBLE David F (2011), *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Transaction Publishers.
- ODUM Eugene P (2001), "Ecosystem, concept of", in *Encyclopedia of Biodiversity*, Academic Press, p. 305-310.
- OSTROM Elinor (2010), *Gouvernance des biens communs. Pour une nouvelle approche des ressources naturelles*, De Boeck Supérieur.
- PETIT Victor & GUILLAUME Bertrand (2018), "Scales of Design: Ecodesign and the Anthropocene", in Pieter E. Vermaas & Stéphane Vial (eds), *Advancements in the Philosophy of Design*, Springer, p. 473-494.
- PFENNIG David W (2022), "Evolution and the Flexible Organism", *American Scientist*, March.
- PFENNIG David W. & LEDÓN-RETTIG Cris (2009), "The Flexible Organism", *Science* 325(5938), p. 268-269.
- PRICE Cedric (1966), "Technology Is The Answer But What Was The Question?", *Pidgeon Digital*, pidgeondigital.com/talks/technology-is-the-answer-but-what-was-the-question-!.
- RABINBACH Anson (2004), *Le Moteur humain. L'énergie, la fatigue et les origines de la modernité*, La Fabrique.
- RAMMERT Werner (2001), "The cultural shaping of technologies and the politics of technodiversity", in *Shaping Technology, Guiding Policy: Concepts, Spaces & Tools*, Edward Elgar Publishing, p. 173-194.
- RAYNAUD Dominique (2016), *Qu'est-ce que la technologie?*, Éditions Matériologiques.
- RIBEILL Georges (2003), «Diversité ou unité des exploitations ferroviaires: un antagonisme permanent?», *Revue d'histoire des chemins de fer* 26, p. 16-42.
- RICE THAT CHANGED THE WORLD: CELEBRATING 50 YEARS OF IR8 (2016), Rice Today, Special supplement focusing on IR8, November. International Rice Research Institute, books.irri.org/RT_Supplement-IR8.pdf.
- ROT Gwenaële (2006), *Sociologie de l'atelier. Renault, le travail ouvrier et le sociologue*, Octares Éditions.
- RUSSELL Edmund (2003), "Introduction: The garden in the machine: Toward an evolutionary history of technology", in Susan Schrepfer & Philip Scranton (eds), *Industrializing Organisms: Introducing Evolutionary History*, Routledge, p. 1-18.

- SCHAFFER Simon (2015), «Les cérémonies de la mesure», *Annales. Histoire, sciences sociales* 70(2), p. 409-435.
- SCOTT James C. (2021), *L'Œil de l'État. Moderniser, uniformiser, détruire*, La Découverte.
- SGARDIGLI Victor (1995), «Le pilote et le concepteur en aéronautique : deux visions de l'automate, du vol et du monde», *Natures sciences sociétés* 3(4), p. 306-317.
- SIDNEY Samuel (1846), *Gauge Evidence: The History and Prospects of the Railway System, Illustrated by the Evidence Given Before the Gauge Commission*, Edmonds and Vacher.
- SIMONDON Gilbert (2005), *L'Invention dans les techniques*, Seuil.
- SIMONDON Gilbert (2011), *Du mode d'existence des objets techniques* [1989], Aubier.
- SOULÉ Michael E (1985), "What Is Conservation Biology?", *BioScience* 35(11), p. 727-734.
- STIEGLER Bernard (2013), *Pharmacologie du Front National, suivi du Vocabulaire d'Ars Industrialis par Victor Petit*, Flammarion.
- STIEGLER Bernard (2020), «Noodiversité et technodiversité. Éléments pour une refondation économique basée sur une refondation de l'informatique théorique», texte non publié.
- STIEGLER Bernard & ROSS Daniel (2020), "Noodiversity, Technodiversity", *Angelaki* 25(4), p. 67-80.
- TASSEY Gregory (2000), "Standardization in technology-based markets", *Research Policy* 29(4), p. 587-602.
- TSING Anna L. (2012), "On Nonscalability: The Living World Is Not Amenable to Precision-Nested Scales", *Common Knowledge* 18(3), p. 505-524.
- TSING Anna L. (2020), *Friction. Délires et faux-semblants de la globalité*, La Découverte.
- TSING Anna L. (2021), «Vers une théorie de la non-scalabilité», *Multitudes* 82, p. 65-71.
- TSING Anna L. (2023), *Proliférations*, Wildproject.
- VALIORGUE Bertrand (2020), *Refonder l'agriculture à l'heure de l'anthropocène*, Le Bord de l'eau.
- VOLTAIRE (n.d.) *Candide ou L'Optimiste*, candide.bnf.fr/candide.pdf.
- WEGNER Peter (1996), "Interoperability", *ACM Computing Surveys* 28(1).
- WIKIPÉDIA (2021a), «Loi relative à l'établissement des grandes lignes de chemin de fer en France».
- WIKIPÉDIA (2021b), "The Principles of Scientific Management".
- WIKIPÉDIA (2022a), «Électrification du réseau ferré en France».
- WIKIPÉDIA (2022b), "Railway Regulation (Gauge) Act 1846".
- WILKINS Jon & GODFREY-SMITH Peter (2009), "Adaptationism and the adaptive landscape", *Biol. Philos.* 24, p. 199-214.

- WOLF Eric R. (2010), *Europe and the People Without History*, 2nd ed., University of California Press.
- WOLFORD Wendy (2021), “The Plantationocene: A Lusotropical Contribution to the Theory”, *Annals of the American Association of Geographers* 111(6), p. 1622-1639.
- WURMSER Daniel (2003), « Cent ans de signalisation latérale en Europe. Divergences et convergences », *Revue d'histoire des chemins de fer* (26) 26, AHICF, p. 160-188.
- YANORELLA Ernest J. & REID Herbert (1996), “From ‘Trained Gorilla’ to ‘Humanware’: Repoliticizing the Body-Machine Complex Between Fordism and Post-Fordism”, in *The Social and Political Body*, Guildford Press, p. 181-219.
- ZWER Nephys (2018), *L'Ingénierie sociale d'Otto Neurath*, Presses universitaires de Rouen et du Havre.

Déprolétarianisation et savoir-faire

Nicolas Brault & Matthieu Tixier

Les manuels de conception destinés aux ingénieurs et concepteurs au sens large présentent le plus souvent des répertoires de méthodes qui ont pour caractéristique commune d'orienter la recherche et le travail vers l'objet technique, c'est-à-dire le produit à concevoir (Carroll 2000, Cross 2000, Sommerville 2009). Au mieux, ces méthodes permettront de partir à la rencontre des usagers, notamment les méthodes regroupées sous l'appellation «UX» (pour *User eXperience*, ou expérience centrée utilisateur), méthodes dont le chapitre 8 du présent ouvrage a montré les limites.

Le principal problème de la contribution des SHS au monde de la conception et de l'innovation est double : au pire, les SHS adoptent une position de surplomb qui rend compte d'un phénomène de diffusion des objets techniques dans les sociétés (Rogers 2003, Davis 1989), reposant sur les pures qualités matérielles et fonctionnelles de ceux-ci et leur mise en contact avec les attitudes et représentations d'utilisateurs fondamentalement passifs. Au mieux, principalement dans le champ des *Science and Technology Studies* (STS), elles s'attachent à rendre compte de la richesse et de l'enchevêtrement des réseaux de relations sociales et matérielles qui, si elles président à l'existence d'un objet technique, dépassent et débordent les concepteurs.

Comme en ont très bien rendu compte Madeleine Akrich et ses collègues du Centre de sociologie de l'innovation (CSI) dans leurs analyses de succès et d'échecs de projets d'innovation, les cheminement qui mènent un projet technologique à prendre place dans

la société s'appuient autant sur des relations sociales que sur les propriétés des artefacts :

(1) ces projets et leurs porteurs (Akrich *et al.* 1988b) doivent trouver et recruter de bons porte-paroles indépendamment de leur mérite technique. On peut par exemple mentionner le cas emblématique d'Art Fry, contributeur central de l'invention du Post-it. Ses papiers semi-collants sont d'abord accueillis avec indifférence par son employeur, 3M, qui ne perçoit pas d'applications ou de marché pour un tel produit. Art Fry, convaincu par la propre utilité qu'il trouve à son innovation, notamment comme marque-page, n'abandonne pas et s'emploie non pas à adapter son produit mais plutôt à trouver des alliés. Il décide de distribuer gratuitement des échantillons de ses papiers semi-collants aux secrétaires de la société. Ces dernières deviennent rapidement intéressées par ces petits bouts de papier repositionnables. Fort de l'intérêt suscité dans les services administratifs, Art Fry cesse sa distribution et réoriente les utilisateurs intéressés vers les standards téléphoniques du service marketing de 3M. Ainsi, il parvient à être entendu de sa direction en créant une pénurie artificielle d'un produit qui n'existait pas encore officiellement ;

(2) les ingénieurs et innovateurs doivent intéresser d'autres intermédiaires, assembler un réseau qui n'est pas seulement composé d'humains (Akrich *et al.* 1988a). On peut prendre le cas de Thomas Edison agençant un formidable laboratoire à Menlo Park, avec sa bibliothèque, ses instruments scientifiques, ses chercheurs et experts en relations publiques à demeure, pour pouvoir asseoir le succès de l'énergie électrique sur celui du gaz pour éclairer l'Amérique. Ou encore le cas fort bien décrit dans Akrich (1987) du déploiement manqué de kits d'éclairage photovoltaïques conçus en France pour apporter des sources de lumière autonomes en Afrique et qui peinent à intéresser aussi bien les municipalités par ses câbles trop courts pour fournir un éclairage où il faudrait, que les potentiels installateurs et réparateurs sur place par les choix d'un modèle d'ampoule et de connectiques qui leur sont inaccessibles, faute de pièces détachées disponibles localement¹.

[1] Nous ne voudrions pas laisser le lecteur sur l'impression que les travaux que nous évoquons témoignent uniquement d'échec et de travers. On

Ces analyses affirment bien le caractère à la fois social et technique des relations qui permettent d'accomplir des projets technologiques et que nous avons en partage. Elles nous semblent cependant insuffisantes pour soutenir la conception orientée milieux développée dans ce manuel. En effet, ces comptes rendus offrent des enseignements rétrospectifs précieux mais peu de prise pour l'ingénieur actuellement engagé ou cherchant à se lancer dans un projet technologique. En d'autres termes, l'approche défendue par Latour et Callon, appelée indifféremment « théorie de l'acteur-réseau » (ANT pour *Actor Network Theory*) (Latour 2005) ou « sociologie de la traduction » (Akrich *et al.* 2006) nous semble nécessaire mais insuffisante. Si elle a permis par exemple de mettre à jour le rôle des non-humains et même des non-vivants (comme les infrastructures matérielles) dans la production des objets techniques, et de les traiter de façon symétrique, cette conception échoue selon nous à penser véritablement le milieu et les relations qui le constituent. La notion de « réseau sociotechnique », réseau qui associe et assemble justement ces actants humains et non-humains, et que la sociologie de la traduction a pour fonction de constituer et de stabiliser, nous semble ainsi purement descriptive. Quatre raisons principales, en lien avec les quatre propriétés des milieux (cf. **chapitre 2**) nous conduisent donc à aller plus loin que l'ANT.

Tout d'abord, la notion de réseau nous apparaît comme plate : elle ne permet pas, contrairement à la conception orientée milieux, de penser par exemple les changements d'échelle (1^{re} propriété des milieux), pas plus que la constitutivité des relations et de la technique (2^e propriété des milieux) : pour reprendre l'exemple du chapitre 2, l'invention de la voiture a en réalité nécessité l'invention de nombreux autres milieux (la route, les parkings, etc.) et a au final intégralement modifié l'architecture et l'aménagement urbain comme rural. Or, chez Latour (Latour, Mauguin & Teil 1991), la

peut notamment mentionner l'analyse par De Laet & Mol (2000) de la remarquable persistance d'un modèle de pompe de brousse au Zimbabwe, présentée comme un modèle de technologie fluide. Sa simplicité d'installation et d'utilisation a permis son adoption mais également sa plasticité qui permet de remplacer la plupart des pièces nécessaires à son fonctionnement à partir d'objets détournés ou de matériaux qui peuvent être trouvés localement.

symétrie s'applique aussi entre le local et le global : nous pensons à l'inverse que le passage du local au global change tout, à commencer par les relations entre les différentes entités du « réseau », notamment en ce qu'il induit des boucles de rétroaction positives ou négatives. La notion de « cascade trophique », évoquée au **chapitre 2** à travers l'exemple de la réintroduction du loup dans le parc du Yellowstone qui modifie la forme même des rivières, est éclairante sur ce point : les relations se modifient en permanence, le milieu aussi.

De même, dans la conception de Latour, le chercheur se borne ainsi à observer et à enregistrer des transformations des énoncés, via les traductions successives, tel un dictaphone ou un électrocardiogramme. Or, nous considérons à l'inverse que le chercheur, mais aussi le concepteur, est toujours au milieu des milieux : la position de surplomb, comme celle de l'observateur extérieur, sont ontologiquement impossibles et la constitutivité des relations et de la technique nous conduit à adopter une posture de « réflexivité » (3^e propriété des milieux). Nous constituons les milieux comme objets de connaissance mais ces milieux constituent aussi nos possibilités même de connaissance.

Ainsi, l'ontologie en apparence relationnelle en arrière-fond de l'ANT et des réseaux sociotechniques nous apparaît parfaitement plate et lisse, et se résume à un graphe de relations entre actants (un schéma actantiel, dirait un professeur de français), où les relations sont purement formelles. Or les relations qui forment un milieu sont bien réelles mais aussi de différentes natures : elles peuvent être des relations affectives, reproductives, synergiques, mais aussi des relations de prédation, des rapports de force, ou des luttes à mort. Elles sont donc d'emblée normatives, et non descriptives : elles portent des valeurs. C'est d'ailleurs ce que souligne Canguilhem en faisant de la « normativité » (4^e propriété des milieux), conçue comme la capacité du vivant à imposer des normes et des valeurs au milieu, le propre du vivant et particulièrement de l'être humain. C'est d'ailleurs en relation avec cette normativité que se comprend la notion de prolétarianisation ou de déprolétarianisation du milieu que nous entendons introduire ici.

Dans ce qui suit, il s'agit tout d'abord (1) de s'interroger sur la notion de milieu prolétarianisant ou déprolétarianisant. Nous proposons ensuite (2) de donner corps à notre proposition de porter atten-

tion aux relations dans un milieu et du nécessaire travail pour les rendre visibles. Puis (3), il s'agit d'insister sur l'importance de ne pas déqualifier les participants d'un milieu et de s'orienter vers une démarche de déprolétarianisation (dont les enrichissements nous semblent de pertinence locale sans même entrer dans l'optique plus large de l'avènement d'une économie de la contribution comme horizon proposé par Bernard Stiegler 2012). Enfin (4), nous souhaitons porter notre attention sur des pratiques et réflexions de concepteurs qui ouvrent des pistes de travail stimulantes pour répondre au défi de développer et transformer les milieux.

1] Déprolétarianiser le milieu ?

Notre propos invite donc à changer le regard sur la place et les rôles possibles de l'ingénieur et des concepteurs, à réaliser une opération de «réassignation de l'attention» (Denis & Pointille 2022). Plus précisément, il s'agit dans la conception orientée milieux non de concevoir des milieux, ce qui est impossible, mais de concevoir *avec, par et pour* les milieux. Ainsi, concevoir *pour* les milieux consiste notamment à viser une déprolétarianisation des milieux. Mais que signifie le terme «déprolétarianisation»? Et que signifie-t-il dans le contexte d'une conception orientée milieux? Autrement dit, comment ce terme peut-il s'appliquer aux milieux?

La notion de déprolétarianisation est bien sûr à mettre en rapport avec son antonyme, celle de prolétarianisation, telle qu'elle est définie d'abord par Marx puis reprise par Stiegler (2012) (Alombert 2018). D'après ce dernier, «la prolétarianisation est, d'une manière générale, ce qui consiste à priver un sujet (producteur, consommateur, concepteur) de ses savoirs (savoir-faire, savoir-vivre, savoir concevoir et théoriser)².» Stiegler rappelle d'ailleurs que Marx ne disait pas que le prolétariat se réduisait à la classe ouvrière, mais simplement que celle-ci était «la première classe à être touchée par la prolétarianisation», avant que cela ne concerne «toutes les couches de la population» (Marx & Engels 2017). Ainsi, en étant «privé de savoir», le prolétaire est aussi «privé de travail»: en ce sens il est

[2] Voir la page consacrée à cette notion sur le site de l'association Ars Industrialis, créée en 2005 à l'initiative de Stiegler. https://arsindustrialis.org/vocabulaire-proletarianisation#_ftnref1 (consulté le 30 juin 2023).

«l'employé d'un milieu dissocié», car il ne peut plus s'individuer ni se co-individuer avec ses collègues de travail «en formant avec eux un milieu associé». Et c'est la machine, en automatisant son savoir via par exemple des algorithmes, qui est à l'origine de cette désindividuation, c'est-à-dire de cette aliénation, au sens d'être «étranger à soi-même», d'être dans l'hétéronomie en subissant la loi de la machine. Qu'est-ce que cela signifie? On ne peut s'individuer ou se distinguer des autres qu'en relation avec eux et dans un certain milieu, notamment un milieu social. Un «milieu associé»³ est précisément un milieu qui permet l'individuation en tant qu'il associe des individus : pour prendre un exemple politique, une démocratie peut être considérée comme une association d'individus qui se fixent à eux-mêmes leur propre loi et par là s'individuent via leur autonomie à la fois individuelle et collective. Une tyrannie ou une dictature, par exemple les dictatures fascistes ou nazies, nient par principe toute individuation : les individus subissent l'hétéronomie au sens où ils appliquent les ordres venus d'en haut, sans possibilité de les discuter. Appliqué à la technique, c'est la différence que montre Marx entre le travail de la nature (par exemple l'agriculture) où l'homme se libère en transformant la nature et en consommant les fruits de sa production, et le travail aliénant de l'ouvrier qui produit une marchandise qu'il ne consomme pas car elle ne lui appartient pas⁴.

Dans le cadre de ce manuel néanmoins, il s'agit moins d'étudier la question de l'individu que celle du milieu : comment un milieu peut-il être prolétarisé ou déprolétarisé? La notion de prolétarianisation est-elle pertinente lorsqu'on l'applique à celle de milieu? Et comment une conception orientée milieux pourrait-elle déprolétarianiser le milieu?

Précisons d'abord notre propos : un milieu qui serait prolétarianisant ou déprolétarianisant ne peut être qu'un milieu technique, c'est-à-dire un milieu humain. Plus précisément il ne s'agit pas de déprolét-

[3] Voir la page consacrée à cette notion de milieu associé et dissocié sur *Ars Industrialis* : <https://arsindustrialis.org/voxcabulaire-milieu-associe-dissocie#:~:text=Un%20milieu%20techno%2Dsymbolique%20vous,contribuez%20pas%20%C3%A0%20votre%20milieu> (consulté le 30 juin 2023).

[4] Pour un aperçu des conditions de travail actuelles dans un entrepôt Amazon, comme exemple de déshumanisation et de soumission à l'algorithme, voir liberation.fr/france/2020/12/23/le-scanner-c-est-notre-chef-au-coeur-de-la-machine-amazon_1809287/ (consulté le 30 juin 2023).

tariser le milieu lui-même, car cela supposerait une maîtrise de ce milieu qui est impossible, mais de déprolétarianiser les relations qui composent ce milieu. En effet, il s'agit ici tout à la fois de changer d'échelle et de changer d'ontologie, au sens où il s'agit de définir ce qui constitue un milieu, ce qui le compose, ce qui fait qu'il est ce qu'il est. En réalité, ces deux éléments sont étroitement liés : changer d'échelle signifie en effet que la conception d'un objet par exemple ne porte pas simplement sur l'objet ou sur son utilisateur, mais sur leur milieu. Il s'agit donc via un certain nombre de méthodes (cf. **chapitres 8 & 9**) de faire apparaître le milieu. Le regard s'ouvre alors « pour intégrer des acteurs, des lieux, des pratiques en relation avec le dispositif, mais que l'on ne percevait pas dans le cadrage initial »⁵. Cela conduit à « repeupler » l'activité de conception, repeupler non pas seulement (et en fait pas tellement) d'individus ou d'objets mais repeupler de *relations* (cf. **chapitre 6**). En effet, la notion de milieu peut être définie comme un ensemble d'individus (humains ou non-humains) et de relations : un milieu ne se comprend ainsi qu'à partir des perspectives des vivants qui y vivent, y agissent et cherchent à y imposer leurs normes, selon différentes échelles. Plus précisément, c'est bien la relation qui l'emporte sur les termes de la relation⁶. L'idée, toute simple, est la suivante : en introduisant par exemple un objet technique dans un milieu, on reconfigure le « paysage existant des relations » du fait de la constitutivité de la technique, et cette reconfiguration peut entraîner soit une prolétarianisation, soit une déprolétarianisation des milieux, c'est-à-dire soit un appauvrissement soit un enrichissement, en qualité comme en quantité, des relations qui constituent un milieu.

[5] N. Simoncini, M. Triclot, C. Noûs, « Pour une démarche de conception orientée milieux », à paraître. Ce texte n'étant pas encore paru, nous renvoyons à Rey, Simoncini & Triclot (2021).

[6] Simondon parle de relation « transductive », désignant par-là l'idée que chacun des termes de la relation est co-constituant de l'autre. En termes logiques on peut aussi parler de « relations de connexion » : par exemple, lorsque Caïn tue Abel, il devient meurtrier, mais il ne peut devenir meurtrier qu'à condition que quelqu'un soit tué. La relation a ainsi le même fondement chez Abel et Caïn mais cette relation peut être décrite comme étant une action pour Caïn mais une passion (au sens de passif) du côté d'Abel. Voir le chapitre consacré à la relation dans Benoist *et al.* (2001).

La notion de relation doit s'entendre dans toute la richesse de ses significations : la relation peut être celle de l'utilisateur à son objet technique mais aussi celle des utilisateurs entre eux, voire celle des objets entre eux, ainsi qu'entre les humains et les non-humains, éventuellement entre les milieux eux-mêmes. Cette relation peut se faire selon deux modalités principales :

1. La première est spatiale : elle définit par exemple la relation d'un utilisateur à l'objet technique. Cette relation détermine un savoir ou un savoir-faire qui souligne la capacité à utiliser un objet dans un contexte donné, la capacité donc à utiliser un savoir ou un savoir-faire déterminé. L'outil (par exemple un tournevis) apparaît ainsi comme une médiation entre l'utilisateur et son projet (par exemple monter un meuble) : cela nécessite à la fois un savoir et un savoir-faire pour trouver le tournevis qui convient à la vis, mais aussi pour lire un plan ou un mode d'emploi, mettre la bonne vis au bon endroit, etc.
2. La seconde est temporelle : dans la relation de l'utilisateur à l'objet technique, ou de l'individu au milieu, apparaît une relation qui s'inscrit dans l'histoire. Un savoir ou un savoir-faire peut en effet être préservé, conservé et transmis. Il peut aussi à l'inverse être implémenté dans une machine ou un algorithme, et perdu⁷.

À ces deux modalités principales de relations s'ajoutent celle de maintenance mais aussi celle du *care* (ou de soin) (cf. **chapitre 14**) : il s'agit bien tout à la fois de maintenir ces relations qui constituent un milieu que d'en prendre soin, de les préserver et de les faire

[7] Pour illustrer ce point, deux exemples semblent pertinents. Le premier concerne la carte et le GPS : les personnes qui n'ont connu d'autres moyens de s'orienter durant leurs trajets en voiture que les applications de type Google Maps ou Waze sont-ils encore capables de se repérer grâce à une carte IGN ou aux panneaux de signalisation ? De même, certains pilotes de ligne considèrent que les jeunes pilotes ne sauraient pas piloter leur avion en cas de défaillance du pilote automatique, alors que les anciens en seraient capables : un rapport de la Federal Aviation Administration américaine soulignait en 2013 que l'usage à long terme des systèmes de gestion de vol pourrait avoir « atrophie les compétences nécessaires [des pilotes] pour anticiper, surveiller et réagir » (PARC/CAST Flight Deck Automation WG, 2013)

persévérer dans le temps. Cela participe en effet du processus de déprolétarianisation invoqué plus haut. À l'inverse, la modification voire la destruction de ces relations et donc de ces milieux renvoie au processus de prolétarianisation, c'est-à-dire à la perte de savoir et de savoir-faire. En ce sens, les savoir-faire, les connaissances, c'est ce qui reste des relations, en tant précisément qu'elles peuvent être conservées et transmises, comme par exemple un parent qui apprend à son enfant comment prendre soin ou réparer ses vêtements ou sa voiture.

2] Porter attention aux relations dans le milieu d'un projet technologique

À titre d'exemple assez paradigmatique de *ce qu'il ne faut pas faire* dans le cadre d'une conception orientée milieux, nous pouvons nous intéresser au cas de l'utilisation de l'intelligence artificielle et des algorithmes dans un certain nombre de contextes. Plus précisément, il s'agit de s'intéresser à certaines applications dont la fonction consiste précisément à *mettre en relation* des producteurs et des consommateurs, en l'occurrence ici des restaurateurs et des clients. Il s'agit bien sûr ici des applications de type Uber Eats, Just Eat, Deliveroo, dont la fonction essentielle se résume à la livraison de repas, comme l'indique leur descriptif sur les magasins d'application mobile. Si un certain nombre de travaux ont insisté sur la *gig economy* (« économie à la tâche », ou « économie des petits boulots ») qui caractérise le capitalisme de plateforme (Woodcock 2021), et sur la prolétarianisation matérielle des livreurs qui travaillent pour ces plateformes, véritables tâcherons⁸ de l'époque contemporaine, aucun ne s'est intéressé spécifiquement à la manière dont ces applications ont profondément modifié les relations unissant le restaurateur et ses clients (**figure 1**), et donc ce que l'on pourrait appeler le milieu du restaurant, conçu à la fois comme lieu physique (où l'on consomme de la nourriture et des boissons) et comme lieu social (comme lieu d'un repas d'affaires, en amoureux, entre amis, comme lieu donc où se font et se défont des relations).

[8] Au sens strict du terme, le tâcheron désignant selon le CNRTL, un « ouvrier qui effectue, dans les exploitations, des travaux payés à la tâche » (cnrtl.fr/definition/t%C3%A2cheron, consulté le 12 janvier 2023).

Un personnage important du restaurant est le serveur : en effet, le serveur sert à mettre en relation la cuisine et la salle de restauration en prenant la commande, en apportant les plats au fur et à mesure qu'ils sont cuisinés et en débarrassant la table une fois les plats terminés. Il sert aussi d'interface entre la cuisine et les clients en



FIGURE 1. Dans le quartier du Maadi au Caire (Égypte), des livreurs attendent des commandes prises par applications mobiles. Scène illustrant la recomposition problématique des relations entre les participants du milieu du restaurant.

faisant remonter les choix, préférences ou les critiques des clients vis-à-vis des plats préparés par le ou les cuisiniers, quitte parfois à rapporter un plat en cuisine pour en améliorer par exemple la cuisson, ou bien changer purement et simplement de plat, si le client n'est pas du tout satisfait. Inversement, le cuisinier informe le client via le serveur de ce qu'il y a la carte, et de ce qu'il n'y a plus au fur et à mesure des commandes ; et le serveur est là aussi pour expliquer au client quels plats se cachent derrière des énoncés parfois sibyllins ou poétiques⁹, et bien sûr pour éveiller et aiguiller le désir du consommateur affamé ou gourmet vers le plat du jour¹⁰. Or, dans un système de livraison de repas, le *serveur* disparaît pour laisser place au *livreur*. En apparence, le serveur et le livreur remplissent la même fonction : il s'agit d'acheminer le plat préparé en cuisine

[9] Que peut-il se cacher par exemple derrière «Le Saint-Pierre côtier cuit à la vapeur douce d'algues wakamé»? Sur l'art des mets comme art des mots, cf. Parizot (2014).

[10] Les auteurs ont parfaitement conscience qu'il s'agit là d'une description largement idéalisée du serveur, qui ne reflète pas la réalité, mais qui contient néanmoins une certaine part de vérité. Les auteurs ont aussi conscience qu'une bonne partie des livraisons de repas concerne des fast-food (burgers, pizzas, kebab, sushis...) où la description des produits se résume à leur dénomination technique sur une carte ou un écran.

jusqu'à la table du consommateur. En réalité, si la fonction est ou semble la même, la différence entre le serveur et le livreur est radicale, pour la simple raison qu'ils ne sont pas dans un même système de relations par rapport au restaurant, au cuisinier, au client ou encore au plat lui-même. Le livreur n'est d'abord pas salarié du restaurant, ni même salarié de la plateforme de mise en relation, mais auto-entrepreneur : il n'a donc en ce sens qu'une relation lointaine et pauvre avec le cuisinier ou le restaurateur, tout comme avec le client final, pas plus qu'avec le plat qu'il doit livrer et qui n'est pour lui finalement qu'un simple colis.

Lemozy et Le Lay, sociologues du travail qui ont étudié le milieu des livreurs, montrent aussi que c'est le milieu même des livreurs qui est appauvri en relations, tant sur le plan quantitatif que qualitatif : la majorité des conversations sont ainsi «stéréotypées» (Lemozy & Le Lay 2021). En effet, «les relations sociales entretenues avec les humains sont produites par des scripts et des formalités, avec des personnes dont on ne peut saisir les affects et qui ne sont pas en position de négocier». En d'autres termes, «les rapports entre les uns et les autres se bornent à une forme de coopération appauvrie, chacun réalise son travail de façon atomisée, toujours au détriment des relations avec les autres. Tout ceci renforce les rapports de domination à l'œuvre dans le travail, notamment en termes d'auto-exploitation et d'autocontrôle des travailleurs, qui alignent leurs pratiques individuelles sur l'objet technique» : ainsi ces applications permettent une «évaluation individualisée des performances» à travers des statistiques qui portent sur trois indicateurs : «Le taux de présence, qui correspond au pourcentage des créneaux réservés auxquels le coursier s'est connecté ; le taux de désinscriptions tardives, qui correspond au pourcentage de réservations annulées à moins de 24 heures d'un créneau réservé ; et la participation aux pics, qui correspond aux nombres de connexions aux créneaux entre 20 heures et 22 heures, les vendredi, samedi et dimanche» (Lemozy 2018). Ces statistiques ont pour fonction d'établir un classement des livreurs et permettent ainsi aux «meilleurs» livreurs de choisir leur plage horaire de travail. En ce sens, les livreurs doivent non pas essentiellement faire leur travail, mais surtout «prêter allégeance» (Lemozy 2018) à l'entreprise dont ils ne sont pourtant pas salariés, en ayant justement de «bonnes statistiques», tout en n'ayant aucun

moyen de discuter ou de modifier les indicateurs. Cet alignement des travailleurs sur l'objet technique constitue sans doute le symptôme le plus évident d'une conception qui non seulement n'est pas orientée milieux, mais dont l'essence même est la négation voire la destruction d'un milieu particulier, via la destruction des relations entre les entités de ce milieu. Le point central pour notre propos est que ce mode de management typique du capitalisme de plateforme vise essentiellement à empêcher les travailleurs non seulement de nouer des relations entre eux ou envers leurs donneurs d'ordre, mais aussi et surtout à empêcher que ces travailleurs développent et « stabilisent » des « savoir-faire collectifs » (*ibid.*), faute d'espace de discussion pour échanger les « trouvailles et astuces » de chacun, ce qui permet par contre en retour à la plateforme de s'appropriier lesdits savoir-faire : « La plateforme a besoin que ce métier soit "simple" et a besoin de le "simplifier", sans quoi elle devrait justifier la constante dévalorisation dont fait l'objet, année après année, la tarification des livraisons. Tout comme elle devrait aussi justifier son appropriation de savoir-faire de personnels "indépendants" qui, logiquement, devraient rester maîtres de ces savoir-faire. » Les travailleurs sont donc piégés, « *trapped in the system* », comme le souligne le collectif Chuang, à propos des livreurs à domicile en Chine¹¹. La solution consisterait-elle à se passer des livreurs, pour éviter justement cette exploitation et cette prolétarianisation ? C'est la solution vendue par l'entreprise Kiwibot¹², qui fournit des robots-livreurs autonomes, montés sur roulette, afin d'effectuer les livraisons de repas sur les campus américains : malheureusement, ces robots ne sont pas réellement autonomes puisqu'ils sont en réalité pilotés à distance, pour éviter les accidents, par des travailleurs mexicains payés 2 \$ de l'heure¹³...

Enfin, ce genre d'applications peut ainsi se révéler tout aussi délétère pour les relations entre les clients et le restaurateur, ou pour le milieu de la restauration en général. L'exemple le plus symbolique est sans doute le développement des *Dark kitchen*, c'est-à-

[11] <https://chuangcn.org/2020/11/delivery-renwu-translation/> (consulté le 29 janvier 2023).

[12] <https://www.kiwibot.com/> (consulté le 29 janvier 2023).

[13] <https://www.youtube.com/watch?v=Flf33H66XX0> (consulté le 29 janvier 2023).

dire des «restaurants virtuels» ou des «cuisines fantômes», où des restaurateurs se partagent des cuisines et qui ne sont accessibles que via ces applications de livraison de nourriture. Dans ces «restaurants» les clients ont purement et simplement disparu, en tout cas physiquement, puisqu'il n'y a pas de salle de restauration mais uniquement des cuisines. La relation au client est dès lors intégralement médiée par l'application et ses métriques, à commencer par la note des clients : celle-ci devient ainsi la principale finalité du restaurateur, quitte parfois à l'augmenter artificiellement¹⁴.

Étudier les relations dans un milieu, étudier les relations qui constituent ce milieu apparaît donc comme le préalable à toute conception : certaines relations sont ainsi fondamentales (ou «transductives», ou «relations de connexion»¹⁵) et les modifier aura pour conséquence de profondément modifier le milieu dans son ensemble, voire de le détruire. Surtout, en étudiant les relations, cela permet de réorienter le regard qui se focalise en général sur les entités (humains, non-humains, entités naturelles, artefacts techniques, etc.) vers les liens qui les unissent, ce qui permet de faire apparaître ce qui n'est pas immédiatement visible. Ainsi les travailleurs mexicains qui pilotent les kiwibots, mais qui restent invisibles aux yeux des étudiants du campus... Ainsi les dizaines de millions de personnes qui, comme les auteurs et les lecteurs de cet ouvrage, cliquent chaque jour sur des captchas afin d'accéder à des sites, et qui travaillent, sans le savoir et gratuitement, pour aider l'intelligence artificielle de Google à conduire correctement la voiture autonome développée par Google.

Deux maximes se dégagent ainsi, si l'ingénieur entend adopter une conception orientée milieux :

Sois attentif aux relations entre entités et non seulement aux entités elles-mêmes. Ce sont ces relations qui constituent un milieu.

En étudiant les relations qui unissent les entités d'un milieu donné, fais apparaître les entités invisibles et les relations invisibles entre entités.

[14] Il existe bien sûr des alternatives positives au capitalisme de plateforme, notamment le mouvement du «*platform cooperativism*» (cf. Scholz & Schneider 2017).

[15] Voir la note 6 de ce chapitre.

3] Réaffirmer la nécessité de ne pas déqualifier les participants d'un milieu

Néanmoins, une fois que les relations (visibles et invisibles) ont été identifiées comme l'objet principal sur lequel doit se concentrer la conception orientée milieux, que faire de ou que faire avec ces relations? Autrement dit, comment faire pour que le milieu, conçu comme ensemble de relations, soit déprolétarisant? Comment faire pour que le milieu se peuple ou se repeuple de relations qui soient bénéfiques au milieu, c'est-à-dire aux relations et aux entités du milieu? Comment, après avoir fait apparaître le milieu, le rendre plus riche en relations, tant au niveau quantitatif que qualitatif?

Pour être tout à fait honnête avec le lecteur, nous n'avons pas la réponse à ces questions, ou plutôt, pas de solution toute faite ou de recette qu'il faudrait suivre pas à pas. Plus précisément, et symétriquement à l'impératif de faire apparaître les invisibles, il faudrait aussi renverser le regard ou changer de perspective quant à la conception par exemple d'un objet technique. En d'autres termes, l'idée défendue ici est que ce qui rend un projet technique solide ou résistant, c'est précisément sa fragilité, au sens où il s'agit de se défaire de l'illusion qui consiste à penser qu'un bon objet technique (un robot de traite par exemple) est un objet qui peut se passer de toute intervention humaine. En réalité, il convient plutôt ici de partir du principe que ce qui rend un projet technologique solide est non l'absence de dépendances mais bien le choix de ses dépendances. En effet, comme le montrent Denis & Pontille, dans leur ouvrage sur *Le Soin des choses*, c'est de la «fragilité comme condition commune des personnes d'un côté, et des choses de l'autre» qu'il faut partir lors de la conception d'un objet technique: ainsi, «le *care*¹⁶ et la maintenance affirment chacun à sa manière que rien ne tient ni ne dure "tout seul"» (Denis & Pontille 2022, p. 93). En ce sens, un «bon» objet technique serait une technologie dont la fonction essentielle serait de permettre de construire des relations, une technologie donc qui aurait besoin d'aide mais qui serait aussi un point de contact entre différentes relations, qu'il s'agisse de relations objets-humains, humains-humains, mais aussi objets-objets.

[16] Voir le chapitre 14 du présent ouvrage.

L'artefact technique serait ainsi ouvert et ce selon trois modalités différentes mais complémentaires :

1. Ouvert à la modification : c'est ce qui permet à celui qui l'utilise de l'adapter aux tâches particulières qu'il doit effectuer, de lui laisser une certaine latitude dans son utilisation, afin justement de laisser place à un savoir-faire individuel et collectif qui peut s'exprimer sous la forme du réglage ou de l'ajustement de la machine. La boîte noire algorithmique est l'antithèse de cette propriété d'ouverture, puisqu'elle n'est ni accessible, ni connaissable, ni modifiable.
2. Ouvert à la réparation : Denis et Pontille montrent bien la « valeur épistémique » de la panne et de l'accident, comment la panne permet à la fois de « découvrir « l'intérieur » de l'objet technique concerné » mais aussi sert « à pointer ce qui le lie à un « extérieur » rendu intelligible par la mise au jour du réseau d'interdépendances dans lequel se trouve imbriquée la technologie concernée » (Denis & Pontille 2022, p. 41-42), en particulier les infrastructures du type réseau ferré, data centers ou câbles sous-marins. Or, bien souvent, malgré l'apparition d'un indice de réparabilité sur les étiquettes des appareils électroménagers, beaucoup d'objets techniques ne sont soit pas réparables du fait même de leur conception, soit pas réparables du fait que la réparation coûte autant voire plus cher que l'achat d'un appareil neuf.
3. Ouvert à la maintenance : l'idée ici est non de créer des objets techniques fragiles, à la manière de l'obsolescence programmée de certains objets, mais de partir du principe que tous les objets techniques sont par définition fragiles matériellement, mais aussi qu'ils se transforment matériellement en permanence, ces « incessantes transformations » étant en général « négligées, voire masquées » (*ibid.*, p. 353). Dès lors, cela signifie aussi bien qu'on laisse aux choses « la possibilité de se manifester » (*ibid.*), ce qui nécessite de réassigner l'attention ; mais aussi qu'on fasse droit à toutes celles et ceux qui s'occupent de la maintenance, et qui sont en général, autant que les opérations de maintenance elles-mêmes, invisibles. Or, là aussi, derrière ces opérations se cachent des savoirs et des savoir-faire individuels et collectifs, potentiellement transmissibles, qui ne se bornent pas d'ailleurs

à simplement préserver les choses ou les objets, mais qui renferment une «forme de création»: le «soin des choses» est ainsi toujours «génératif» (*ibid.*, p. 352)

Ainsi, créer un artefact ouvert aux relations revient aussi à éviter que cet artefact devienne prolétarisant, c'est-à-dire qu'il prive celles et ceux qui vont l'utiliser, le réparer ou le maintenir de savoir ou de savoir-faire. C'est redonner une certaine part d'indétermination et donc une certaine autonomie à la fois théorique et pratique aux humains, aux vivants mais aussi aux artefacts, dans leur capacité que tous auront à nouer des relations qui pourront perdurer dans le temps. L'exemple de l'Atelier paysan, coopérative d'autoconstruction de matériel agricole qui entend retrouver «collectivement une souveraineté technique, une autonomie par la réappropriation des savoirs et des savoir-faire»¹⁷ nous semble ainsi être intéressant. Comme le souligne une agricultrice bretonne membre du réseau, «l'avantage d'avoir créé ces outils avec l'Atelier paysan, c'est l'autonomie sur la ferme: c'est de pouvoir soi-même réparer ses outils, d'avoir des outils qui sont complètement adaptés à sa ferme»¹⁸. Si la coconception avec les utilisateurs n'est pas toujours possible, et a aussi ses limites, et si le concept de l'Atelier paysan n'est pas généralisable à tous les domaines, il reste que l'idée directrice semble assez proche de la conception orientée milieux défendue dans le présent ouvrage.

Deux maximes nous semblent importantes à retenir:

Quand tu conçois un objet ou un dispositif technique, n'oublie pas qu'il est fragile et qu'il a besoin de relations pour perdurer dans l'espace et dans le temps.

Quand tu conçois un objet ou un dispositif, conçois-le non comme une entité fermée sur elle-même et indépendante mais comme une entité ouverte aux relations (modification, réparation, maintenance, soin...) avec les autres entités du monde.

4] Développer et transformer les relations pour un milieu

Porter attention aux relations comme nous l'invitons (section 2), et travailler à enrichir la qualité de ces relations (section 3), à ne

[17] <https://www.latelierpaysan.org/> (consulté le 29 janvier 2023).

[18] *Ibid.*

pas induire de processus de prolétarianisation, est certes important mais ne rend pas pour autant évident l'élaboration d'une approche d'action positive à partir de la position des concepteurs et ingénieurs. Dans ce qui suit nous proposons plusieurs pistes, inspirées de travaux et d'exploration d'intervenants et de concepteurs, pour le développement et la transformation des relations dans un milieu, pour un milieu. Il nous semble qu'elles ouvrent des voies de travail productives pour l'ingénierie et repenser la conduite des projets technologiques.

Comme souligné dans les cas de ce chapitre et précédemment (**chapitres 8 & 9**), pour nouer des relations, il est finalement essentiel de pouvoir identifier, faire réapparaître les invisibles, les sujets et organisations, avec lesquels le projet technologique est en relation et qui sont parfois insoupçonnés au démarrage du projet. Ceux-ci ne sont pas tous visibles au premier abord : les termes des relations se construisent et se révèlent au long de l'accomplissement du projet technologique.

Si un tel travail peut sembler plus proche de celui de l'entrepreneur ou du sociologue construisant son enquête que de l'ingénieur, la prise de conscience que ces dépendances et leur entretien sont essentielles à la réussite d'un projet technologique pose la question de l'investissement en temps et en moyens à y consacrer, et ce de façon réfléchie et organisée. De même, ce travail n'est pas à décorréler des propriétés matérielles des objets technologiques (comme illustré par Akrich 1987). Force est de constater que les méthodes et approches de gestion de projet sont assez pauvres sur le sujet, surtout s'il s'agit de viser l'enrichissement et la déprolétarianisation plutôt que l'automatisation et l'instrumentalisation des techniques et des personnes. L'ingénieur n'est par ailleurs pas forcément le mieux équipé pour accomplir ce travail relationnel et peut alors chercher des soutiens auprès d'autres disciplines, en particuliers des sciences humaines et sociales, qui pourront être mieux à même de faire apparaître et de suivre ces relations.

Un projet présenté par la chaire Industrie, Design & Innovation Sociale (IDIS) de l'ESAD de Reims (Eudes & Maire 2018) nous semble particulièrement emblématique de la démarche de travailler à enrichir les relations dans un milieu (**encadré 1**).

**Encadré 1. Exemple du projet de consortium
Ardennes Design Industries (ADI) de la chaire IDIS**

La chaire IDIS (<http://chaire-idis.fr>) vise à croiser innovation sociale et design en développant des recherches projets sur le territoire Champardennais. Dans ce cadre une classe d'étudiants de Master en Design d'objets est venue prendre ses quartiers de façon régulière dans un groupement d'entreprises de fonderie, le consortium Ardennes Design Industries (ADI), afin entre autres de découvrir le travail des métaux et de la fonte en usine avec des personnes de métiers et de concevoir de nouveaux objets. Comme le présentent les responsables de la chaire IDIS sur leur site web à propos de ce projet (<http://chaire-idis.fr/projets/collaboration/>) :

En s'associant, ADI et la Chaire IDIS ont souhaité mettre en valeur le patrimoine industriel incarné par les compétences et spécificités des entreprises locales. Il s'agit d'opérer des croisements pertinents qui traitent à la fois des savoir-faire de chacun, de l'entité ADI et de la plus-value innovante que de jeunes créateurs peuvent apporter à un tel patrimoine. L'étudiant designer s'y inscrit comme médiateur et permet de cristalliser une production commune. [...] Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ces entreprises, les étudiants ont formé des binômes pour suivre la production d'une journée au sein de chaque société.

Une démarche d'enquête de terrain où «la plus-value des objets produits réside ainsi tout autant, sinon davantage, dans leur capacité à créer une appréciation professionnelle et intellectuelle mutuelle entre étudiants et hommes et femmes de métier» (Eudes & Maire 2019, p. 262).

Le travail des designers de la chaire IDIS montre un déplacement du centre de l'attention du projet vers les relations sociales et matérielles qu'il parvient à susciter, développer et entretenir. Ce déplacement serait sans doute profitable aux projets d'ingénierie et une voie d'exploration consisterait, si ce n'est à inverser, au moins à équilibrer les investissements en termes de temps humains et de ressources pour le développement et le maintien de bonnes relations dans le milieu en lieu et place d'une focalisation sur les caractéristiques fonctionnelles et non fonctionnelles du produit. Par exemple, prendre du temps pour se connaître et pour partager des savoir-faire dans le cas de la chaire IDIS. Ce déplacement bien qu'il soit facilité par le rôle et la place des étudiants n'est sans doute pas limité au seul contexte pédagogique.

L'importance des relations et savoir-faire développés dans un milieu n'est pas complètement étrangère aux ingénieurs. Dans le cas du génie logiciel, on peut reconnaître dans l'avènement des méthodes «Agiles» (<http://agilemanifesto.org/>) (Meyer 2014) une attention portée à la transformation et au développement de certaines relations dans le milieu des ingénieurs et développeurs en Informatique et de leurs projets, comme en témoigne le manifeste éponyme (encadré 2).

Encadré 2. Extrait du *Agile Manifesto* (2001)

Nous découvrons comment mieux développer des logiciels par la pratique et en aidant les autres à le faire. Ces expériences nous ont amenés à valoriser :

- Les individus et leurs interactions plus que les processus et les outils,
- Des logiciels opérationnels plus qu'une documentation exhaustive,
- La collaboration avec les clients plus que la négociation contractuelle,
- L'adaptation au changement plus que le suivi d'un plan.

Nous reconnaissons la valeur des seconds éléments, mais privilégions les premiers.

Les valeurs que les ingénieurs signataires de ce texte souhaitent promouvoir affirment remettre au centre les interactions dans les équipes ou encore réformer les termes de la relation aux clients. Ce mouvement témoigne bien d'une ambition de changer les relations dans le milieu et se décline également par des changements de pratiques concrets. On peut donner à titre d'exemple la méthode *eXtreme Programming* (XP) synthétisée par Kent Beck (1999), l'un des douze signataires et l'une des principales sources d'inspiration du manifeste. Deux de ses principes¹⁹ témoignent de propositions d'organisation et d'action à la fois concrètes et radicales pour changer le milieu des projets logiciels :

- Programmation en binôme (*Pair Programming*) : dans la méthode XP, les développeurs travaillent à deux pour un seul poste de travail. Pendant que l'un écrit le code, l'autre observe

[19] Parmi les 12 que compte l'approche XP (Beck 1999).

et suit l'activité, soutient la réflexion sur l'intégration à l'ensemble du logiciel. Se relayant l'un l'autre derrière le clavier, le soutien mutuel dans la production du code et la qualité du code qui en résulte est la motivation principale de ce choix qui tranche avec les approches classiques d'attribution individuelle de tâche. La composition des binômes dans l'équipe est également censée changer régulièrement si ce n'est quotidiennement favorisant l'interconnaissance.

- **Équipe au complet (*Whole Team*)** : Le client et les utilisateurs finaux doivent faire partie de l'équipe projet dans la mesure où ils sont les ultimes juges de la qualité et de la pertinence du logiciel produit. Ainsi au lieu de prévoir des échéances décisives éloignées de parfois plusieurs mois, la méthode XP demande de pouvoir solliciter le client à tout moment pour qu'il donne son avis sur l'état courant du logiciel produit²⁰.

Ces principes d'action sont pour Beck le fruit d'une longue expérience de projets et d'échanges avec ses pairs, mais également la forme restituée de la mise à l'épreuve de ces principes sur plusieurs projets d'ingénierie logiciel. Fort d'un succès d'audience jusque dans les plus grands groupes, les approches Agiles se sont depuis considérablement développées et diversifiées dans leurs formes et recommandations, peut-être d'ailleurs sans que le geste le plus fort – le travail sur les relations du milieu du projet logiciel – n'ait vraiment été consciemment assumé à la différence de ce que nous visons ici.

Il est toutefois certain que ce travail réflexif est possible et que certains projets en informatique tirent déjà des leçons de l'enjeu spécifique du développement des relations sociales et matérielles en lien avec la déprolétarianisation et les savoir-faire dans leur milieu. Le cas de l'évolution des activités des collectifs que fédère l'association Framasoft est particulièrement emblématique à ce sujet (**encadré 3**).

Encadré 3. Exemple de démarche de déprolétarianisation des milieux avec Framasoft

Framasoft (<https://framasoftware.org/fr/association/>) est une association à but non lucratif qui assure une mission d'éducation populaire

[20] L'enjeu de parvenir à engager aussi fortement le client a eu tendance à évoluer dans les méthodes Agiles actuelles avec l'arrivée de la figure d'un représentant du client, le *Product Owner*.

aux enjeux du numérique et des communs culturels. Depuis sa création en 2004, elle a nourri de nombreux projets promouvant le logiciel libre, dont la constitution d'un annuaire de ressources libres comptant plus de 1 300 références, qui en font un acteur reconnu de l'Internet et du numérique francophone (4 millions de visites par mois).

Alors que de plus en plus d'utilisateurs du web confient leurs données, leurs photos, leurs documents de travail à des services en ligne détenus par de grandes compagnies transnationales, les fameuses GAFAM, via «le cloud», Framasoft cherche à alerter sur les risques de cette captation pour les internautes et à proposer des voies alternatives aux monopoles en cours de constitution à l'époque. En octobre 2014, l'association lance le projet «Dégooglisons Internet: notre (modeste) plan de libération du monde» (<https://framablog.org/2014/10/07/degooglisons-internet/>) avec pour ambition de proposer des services concurrents «Libres, Éthiques, Décentralisés et Solidaires».

En près de deux ans, plus d'une trentaine de services web alternatifs aux services web cloud ont ainsi été proposés au public au travers de projets de logiciel réalisé pour l'occasion ou du développement d'infrastructures pour logiciels libres existants (<https://framablog.org/2016/10/03/degooglisons-saison-3-30-services-alternatifs-aux-produits-de-google-co/>). Parmi les plus connus, on peut mentionner FramaPad, version de l'éditeur coopératif de texte synchrone en ligne Etherpad qui a également été très investi par la recherche (Crozat 2019), le projet Framagenda comme alternative à Google Calendar, ou encore FramaForm comme outil alternatif pour réaliser des formulaires et questionnaires.

L'opération «Dégooglisons Internet» connaît un grand succès. Framasoft décide cependant de mettre un coup d'arrêt au développement et au maintien de sa collection de services alternatifs en ligne (<https://framablog.org/2017/09/25/degooglisons-internet-cest-la-fin-du-debut/>), prenant conscience en quelque sorte qu'il fait face à un mur. En effet, après trois ans de croissance effrénée, le collectif dresse un bilan mitigé, malgré son succès, de son ambition de proposer des alternatives plus vertueuses et respectueuses des usages du web. Les utilisateurs sont toujours plus nombreux à venir consommer les services de Framasoft mais épuisent les ressources de l'association. Quel sens y aurait-il à devenir aussi gros qu'une GAFAM? Ce n'est par ailleurs pas le souhait de l'association qui cherche à rester une structure à taille humaine (10 permanents en

2023). Par ailleurs, l'approche manque quelque peu son ambition d'éducation populaire : les usagers consomment les services sans avoir conscience du travail, des ressources et des savoir-faire nécessaires à leur bon fonctionnement (comme chez les GAFAM). Ne serait-il pas essentiel pour un collectif comme Framasoft de chercher à développer les connaissances de ses usagers, voire de leur permettre d'héberger eux-mêmes les services dont ils ont besoin ?

C'est ainsi qu'une voie de travail plus prometteuse est élaborée, témoignant d'un profond travail sur les relations dans un milieu, celle de déplacer les efforts vers le développement du Collectif des hébergeurs alternatifs, transparents, ouverts, neutres et solidaires (Chatons, chatons.org). Framasoft désactive ainsi progressivement plusieurs des services qui ont fait le succès de l'opération « Dégooglisons Internet ». Les logiciels et le code source de ces services en ligne étant disponibles sous licence libre, l'association recommande et fournit les ressources à ses usagers pour qu'ils puissent les héberger eux-mêmes, et en particulier de façon simplifiée, en termes de connaissance en informatique, en optant pour une entreprise ou un organisme d'hébergement Internet adhérent au Chatons. Dans ce dernier cas, la mise en place peut prendre quelques minutes. Par exemple, il n'est plus possible depuis les serveurs de Framasoft de créer un Framagenda mais un usager intéressé peut solliciter un hébergeur des Chatons pour l'aider à avoir accès à cet outil, souvent en quelques clics.

Cette transition est progressive et s'étalera encore plusieurs années durant. Elle témoigne d'une prise de conscience rare et d'un travail pour ne plus prolétarianiser ou déqualifier les usagers, pour leur fournir des moyens de disposer d'outils et d'infrastructures moins immédiats mais avec un engagement raisonnable. Les adhérents du Chatons constituent par ailleurs un réseau d'acteurs, intermédiaires, pour soutenir et diffuser les pratiques et valeurs promues par l'association et contribuent ainsi à enrichir le milieu de Framasoft et de l'Internet libre francophone.

Ce geste formidable de Framasoft dans l'évolution de son projet « Dégooglisons Internet » nous apparaît comme exemplaire d'une approche de conception orientée milieux, en particulier sur les questions de relations et savoir-faire. Peu de projets d'ingénierie atteignent cette profondeur de réflexion sociotechnique. Les quelques lignes que nous y consacrons ne rendent bien entendu

compte que très partiellement de l'important travail pour mettre à disposition les ressources logicielles, animer le collectif des Chatons, définir les cadres de partage et régulation associés ou encore transmettre cette vision auprès des internautes. La prise de conscience de ces enjeux dans le temps appelle certainement à systématiser ces formes de réflexions afin de pouvoir les mobiliser à profit par ailleurs.

La notion de dépendance est une notion fondamentale et établie pour l'ingénieur malgré la diversité de ses définitions. C'est une notion en perpétuelle tension dans un projet car à la fois nécessaire et en même temps que l'ingénieur cherche à limiter au minimum. Notre propos fait figure d'appel pour que le registre des dépendances des projets d'ingénierie s'étende bien au-delà du registre technique. On peut reconnaître à ce titre l'écueil des projets actuels en IA et Big Data où l'essentiel des questions de dépendance est appelé à se résoudre en termes d'accès et d'acquisition de données²¹ – données dont on peut fort justement interroger l'existence et la pertinence comme une sorte d'impasse (Denis 2018).

Une voie de travail consistera sans doute à étendre la réflexion sur les dépendances à des échelles sociales et matérielles plus larges pour approcher la richesse du concept de milieu. Comme pour le travail invisible (Star & Strauss 1999), ce qui est invisible est peu ou mal pris en considération. Le point de départ pour les ingénieurs et les concepteurs sera d'en prendre acte pour mieux l'intégrer dans leur travail.

Ainsi, la principale critique que la conception orientée milieux pourrait faire aux approches Agiles est de travailler avec une approche encore trop restreinte du milieu, dans un contexte abstrait et idéalisé de relations entre clients et producteurs. C'est également la limite d'une orientation strictement focalisée sur la satisfaction du client plutôt que sur l'installation d'une négociation plus large. Une approche plus riche du milieu appelle nécessairement à aller au-delà et penser la singularité des participants, des actions et savoir-faire propres à chaque projet technologique comme le suggèrent les différents chapitres de ce manuel.

[21] wired.com/insights/2014/07/data-new-oil-digital-economy/

En écho avec le manifeste « Agile », nous pouvons formuler les maximes suivantes en forme d'extension pour développer et transformer les relations pour un milieu :

Développe les relations pour élargir et enrichir le milieu d'un projet technologique plutôt que de les rendre invisibles derrière les figures de l'autonomie et de l'automatisation.

Ne cherche pas à te substituer aux savoir-faire des participants du milieu d'un projet technologique, mais cultive ces savoir-faire.

5] Conclusion

Une maxime pourrait résumer l'ensemble de notre propos dans ce chapitre :

(Dé)prolétaires de tous les milieux, unissez-vous !

Par-delà la référence en forme de boutade au *Manifeste du parti communiste* de Marx et Engels, il s'agit plus sérieusement, dans la conception orientée milieux, de créer des milieux, c'est-à-dire des relations entre les humains, mais aussi entre les humains et les non-humains comme les artefacts techniques, qui soient déprolétarisants, c'est-à-dire qui redonnent aux humains une certaine autonomie et un certain pouvoir vis-à-vis notamment des multiples objets techniques qui les entourent. Mais cette autonomie n'est pas pour autant une libération des humains par rapport aux objets techniques : il ne s'agit pas de jeter à la poubelle toutes les productions de la technique humaine depuis des millénaires. Au contraire, il s'agit de maintenir, de réparer et de prendre soin de ce monde qui est notre monde. En d'autres termes, il s'agit d'adopter une éthique du *care*, qui est l'objet du chapitre suivant.

Pour aller plus loin

STIEGLER Bernard (2012), *États de choc. Bêtise et savoir au XXI^e siècle*, Fayard/Mille et une nuits.

Où le lecteur retrouvera les fondements des réflexions sur le processus de déprolétarisation développés dans ce chapitre et une critique des projets technologiques qui résiste aux options technophobes et de rejet des techniques.

ILLICH Ivan (1973), *Tools for Conviviality*, Harper and Row.

Référence historique où le lecteur trouvera des concepts (*i.e.*, contre-productivité, technologies conviviales) et analyses critiques de projets technologiques d'une époque dont les soubresauts n'ont cessé de se propager jusqu'à nos jours. La formulation des conditions pour des technologies conviviales se veut une source d'inspiration générative pour une conception orientée milieux.

CLOT Yves (2008), *Travail et pouvoir d'agir*, PUF.

Où le lecteur trouvera des repères méthodologiques pour travailler sur les relations entre humains et organisation du travail pour développer le pouvoir d'agir des collectifs. Le thème des objets techniques peut sembler lointain au premier abord mais cet ouvrage classique en psychologie du travail ouvre des pistes de travail profondes pour penser les projets technologiques.

DENIS Jérôme & PONTILLE David (2022), *Le Soins des choses*, La Découverte.

Où le lecteur pourra approfondir les relations et perspectives qui habitent les milieux de la maintenance. Nous comprenons cet ouvrage comme une invitation à repenser la place et les ressources investies dans le travail de maintenance et de soin aux objets techniques qui préfigure des évolutions souhaitables pour les outils et méthodes de l'ingénieur.

Bibliographie

- AKRICH Madeleine, 1987, « Comment décrire les objets techniques ? », *Technique et culture* 9, p. 49-64.
- AKRICH Madeleine, CALLON Michel & LATOUR Bruno (1988a), « A quoi tient le succès des innovations ? 1. L'art de l'intéressement », *Annales des Mines, Gérer et comprendre* 11, p. 4-17.
- AKRICH Madeleine, CALLON Michel & LATOUR Bruno (1988b), « A quoi tient le succès des innovations ? 2. L'art de choisir les bons porte-parole », *Annales des Mines, Gérer et comprendre* 12, p. 14-29.
- AKRICH Madeleine, CALLON Michel & LATOUR Bruno (2006), *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*, Presses des Mines.
- BECK Kent (1999), *Extreme Programming Explained: Embrace Change*, Addison-Wesley
- BECK Kent *et al.* (2001), *The Agile Manifesto*, <https://agilemanifesto.org/>.
- ALOMBERT A. (2018), « Du prolétariat à la prolétarianisation : vers une nouvelle critique de l'économie politique dans le contexte de l'automatisation numérique », *Implications philosophiques*, implications-philosophiques.org/du-proletariat-a-la-proletarianisation/
- BENOIST Jocelyn, Jacques Bouveresse, Stanley Cavell, Donald Davidson, Vincent Descombes, Gilles Gaston Granger, Ian Hacking, John R Searle, Salvatore Veca, et Jules Vuillemin (2001), *Quelle philosophie pour le XXI^e siècle ? L'Organon du nouveau siècle*, Paris : Gallimard

- CARROLL John (2000), *Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions*, MIT Press.
- CROSS Nigel (2000), *Engineering design methods: strategies for product design*, John Wiley & Sons.
- CROZAT Stéphane, 2019, « De l'écriture qui veut imprimer à l'écriture qui veut programmer », *Balisages. La revue de recherche de l'Enssib* 4.
- DAVIS Fred (1989), "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology", *MIS Quarterly* 13(3), p. 319–339.
- DE LAET Marianne & MOL Annemarie (2000), "The Zimbabwe bush pump: Mechanics of a fluid technology", *Social studies of science* 30(2), p. 225-263.
- EUDES Emeline & MAIRE Véronique (2018), *La fabrique à écosystèmes – Design, Territoire et Innovation Sociale*, LOCO.
- EUDES Emeline & MAIRE Véronique (2019), « De l'innovation sociale vers le care : expériences de la Chaire IDIS », in Jehanne Dautrey (eds) *Design et pensée du care – Pour un design des microluttes et des singularités*, Les presses du réel, p. 257-270.
- JÉRÔME Denis & DAVID Pontille (2022), *Le soin des choses*, La Découverte.
- JÉRÔME Denis (2018), *Le travail invisible des données*, Presses des Mines.
- LATOUR Bruno, Manguin Philippe & Teil Geneviève (1991), « Une méthode nouvelle de suivi socio-technique des innovations : le graphe socio-technique », in Vinck Dominique & Akrich Madeleine (sous la coordination de), *Gestion de la recherche : nouveaux problèmes, nouveaux outils*, Armand Colin, p. 419-477.
- LATOUR Bruno (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford University Press.
- LEMOZY Fabien & LE LAY Stéphane (2021), « Le rapport subjectif au travail dirigé par les algorithmes. Être livré à soi-même sur une plateforme capitaliste », *Mouvements* 106(2), p. 99-107.
- LEMOZY Fabien (2018), « La tête dans le guidon », *La nouvelle revue du travail* 14, <https://doi.org/10.4000/nrt.4673>.
- MARX Karl & ENGELS Friedrich (2017), *Manifeste du parti communiste* [1848], Flammarion.
- MEYER B. (2014), *Agile !: The Good, the Hype and the Ugly*, Springer.
- PARC/CAST Flight Deck Automation WG. (2013). *Operational use of flight path management systems: Final report of the performance-based operations*. Federal Aviation Administration (FAA).
- PARIZOT Anne (2014), « Art des mets... art des mots », *Anthropology of Food*.
- REY B., SIMONCINI N. & TRICLOT M. (2021), « Les sciences humaines et sociales en recherche technologique : vers une démarche de conception fondée sur l'ethnographie », in P. Lamard & Y. Lequin (dir.), *La Démocratie technique en travail*, Presses de l'UTBM, p. 187-205.
- ROGERS Everett (2003), *Diffusion of Innovations* (5th ed.), Free Press.

- SCHOLZ T. & SCHNEIDER N. (eds) (2016), *Ours to Hack and to Own: The Rise of Platform Cooperativism, A New Vision for the Future of Work and a Fairer Internet*, OR Books.
- SCHÖN Donald (1983), *The Reflective Practitioner*, Basic books.
- SIMONCINI N., TRICLOT M. & NOÛS C., «Pour une démarche de conception orientée milieux», à paraître.
- SOMMERVILLE Ian (2009), *Software Engineering* (9th ed.), Pearson.
- STAR Susan Leigh & STRAUSS Anselm (1999), “Layers of silence, arenas of voice: The ecology of visible and invisible work”, *Computer Supported Cooperative Work* 8(1-2), p. 9-30.
- STIEGLER Bernard (2012), *États de choc. Bêtise et savoir au XXI^e siècle*, Fayard/Mille et une nuits.
- WOODCOCK Jamie (2021), *The Fight against Platform Capitalism: An Inquiry into the Global Struggles of the Gig Economy*, University of Westminster Press.

L'éthique, l'ingénieur et le *care*

Xavier Guchet

L'ingénieur est aujourd'hui invité à endosser deux postures éthiques complémentaires : d'une part, il est tenu d'être responsable de son activité devant la société, c'est-à-dire qu'il doit s'assurer, tant que faire se peut, que ses dispositifs auront des conséquences jugées positives, bénéfiques. Il doit chercher au maximum à anticiper les conséquences de ce qu'il fait. D'autre part, il peut parfois être amené à dire non, à s'opposer à ce qu'on attend de lui, parce que cela heurte certaines valeurs avec lesquelles il refuse de transiger, y compris si cela se traduit par des conséquences désavantageuses, par exemple pour son employeur. «Je ne puis faire autrement. Je m'arrête là!»

1] Limites des approches classiques de l'éthique de l'ingénieur

C'est le cas notamment des lanceurs d'alerte, dont la loi française définit le statut général et qu'elle protège depuis 2016¹. Au siècle passé, des scientifiques avaient déjà refusé de faire ce que l'ethos de leur profession leur commandait, comme partager la connaissance scientifique avec des collègues, et ceci au nom de valeurs morales. Ainsi, le mathématicien Norbert Wiener avait-il répondu négativement à un scientifique qui, en 1946, lui demandait la copie d'un article sur le contrôle des missiles téléguidés, que Wiener

[1] La protection des lanceurs d'alerte a été améliorée par une nouvelle loi publiée au Journal Officiel en mars 2022.

avait rédigé durant la Seconde Guerre mondiale pour le compte du Comité de recherche de la Défense nationale américain. Dans une lettre adressée à ce scientifique², Wiener explique son refus : les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki montrent que la connaissance scientifique, divulguée sans limitation aucune, peut entraîner de très graves conséquences. Cela doit inciter les scientifiques à la plus grande prudence. Wiener a été une sorte de lanceur d'alerte pour les communautés savantes.

Ainsi, pour reprendre les formules du sociologue Max Weber, l'ingénieur a deux référentiels éthiques à sa disposition (Weber 1959) : une éthique de conviction, qui peut l'amener à refuser de faire ce qu'on lui demande en fonction de ses valeurs, et une éthique de responsabilité stipulant qu'il doit assumer, moralement parlant, les conséquences de son activité (encadré 1).

Encadré 1. Éthique de la conviction et éthique de la responsabilité

L'éthique de la conviction et l'éthique de la responsabilité ne recouvrent pas exactement les deux grandes éthiques normatives qui structurent notre vie morale depuis plus de deux siècles, le déontologisme et le conséquentialisme. La première définit l'agir moral par le devoir : tu dois (faire ceci ou cela) de façon inconditionnelle, c'est-à-dire indépendamment des conséquences. Agis de telle façon que ta volonté se détermine à agir par pur respect pour le devoir (« tu dois »), et non par intérêt ou inclination naturelle. Le conséquentialisme stipule au contraire qu'agir moralement, c'est viser le plus grand bien plus pour le plus grand nombre, ce qui fait porter l'évaluation morale de l'action non pas sur la façon dont la volonté se détermine à agir, comme dans le déontologisme, mais sur les conséquences de l'action.

À première vue, l'éthique de conviction est déontologiste, l'éthique de responsabilité conséquentialiste. Toutefois, déontologisme et conséquentialisme sont deux doctrines morales qui se distinguent quant à leurs principes respectifs. En revanche, conviction et responsabilité ne sont pas deux doctrines morales, mais deux orientations de l'agir moral qui sont amenées, non à s'opposer, mais à se compléter. Ainsi, être jusqu'au-boutiste dans ses convictions,

[2] Intitulée "A Scientist Rebels", cette lettre a été traduite et publiée en français dans la revue *Alliage*, n° 52, oct. 2003.

sans aucun égard pour les conséquences que cette fidélité inconditionnelle est susceptible d'avoir, peut conduire aux pires monstruosité – Weber donne l'exemple du révolutionnaire pour qui tous les moyens sont bons dès lors qu'ils permettent de se rapprocher du but suprême. L'éthique de responsabilité est moins sujette à ces extrêmes, dans la mesure où la responsabilité se vit le plus souvent de façon plurielle : l'ingénieur est responsable vis-à-vis de l'équipe projet qu'il coordonne, vis-à-vis de l'entreprise pour laquelle il travaille, vis-à-vis de la société dans son ensemble, ou encore vis-à-vis de ses proches. Cela étant dit, comme le souligne Weber, il arrive toujours un moment où l'agent moral (notre ingénieur par exemple) est amené à hiérarchiser ses responsabilités – le lanceur d'alerte est ainsi celui qui, par exemple, peut décider de faire primer sa responsabilité vis-à-vis de la société sur sa responsabilité vis-à-vis de l'entreprise. Or, hiérarchiser ses responsabilités ne peut se faire qu'en fonction de convictions. L'éthique de conviction implique la responsabilité au regard des conséquences de l'action ; l'éthique de responsabilité implique la capacité à établir des priorités selon des convictions. Les deux éthiques s'entremêlent, et chacune combine devoir et calcul des conséquences.

Or, l'ingénieur peut aujourd'hui avoir des difficultés à suivre aussi bien l'éthique de conviction que l'éthique de responsabilité.

Du côté de l'éthique de conviction, l'ingénieur est confronté à trois types de difficultés. Premièrement, dès lors qu'il est amené à exercer son activité dans des organisations hiérarchisées, il est pris dans des relations de subordination qui le placent en position d'hétéronomie – c'est-à-dire qu'il n'est pas entièrement libre de ses décisions, l'hétéronomie étant le contraire de l'autonomie. Il exécute des tâches que d'autres que lui ont décidées. Comment dans ces conditions lui imputer des choix de valeur qui ne sont pas les siens ? Que vaut l'éthique de conviction si l'ingénieur n'a pas le pouvoir d'imposer ses convictions ?

À cela s'ajoute une deuxième difficulté fragilisant l'éthique de conviction. Weber, de nouveau, constate que « pour atteindre des fins « bonnes », nous sommes la plupart du temps obligés de compter avec [...] des moyens moralement malhonnêtes ou pour le moins dangereux ». Agir selon Weber, c'est devoir composer avec ce qu'il appelle « des puissances diaboliques ». Or, une éthique de

conviction ne fournit aucune règle permettant de décider jusqu'où «la fin justifie les moyens», et à partir de quel moment ce n'est plus le cas. «Aucune éthique au monde ne peut nous dire [...] à quel moment et dans quelle mesure une fin moralement bonne justifie les moyens et les conséquences moralement dangereuses.» Cette difficulté redoutable tord le cou à la thèse selon laquelle la technique ne constituerait qu'un ensemble de moyens moralement neutres, en vue d'atteindre des fins qui, seules, auraient une valeur morale : les moyens ont aussi une valeur morale qui peut dans certains cas amener à reconsidérer la valeur de la fin initialement recherchée. Comme on le dit trivialement, le jeu peut ne pas en valoir la chandelle.

Enfin, troisièmement, savoir ce qui constitue une fin moralement bonne est une question particulièrement épineuse, qui amène deux questions redoutables : tout d'abord, pour qui et de quel point de vue les fins visées peuvent-elles être dites bonnes ? Kant nous avait avertis (Kant 1993) : les fins ne peuvent être dites bonnes que d'un certain point de vue, elles sont relatives. Ensuite, et compte tenu de cette relativité des fins jugées bonnes : qui décide quelles sont les fins qu'il faut viser, et comment cette décision est-elle prise ? Question connexe : sommes-nous toujours assurés que les fins désignées comme moralement bonnes ne sont en réalité pas autre chose que l'expression d'intérêts particuliers ? L'ingénieur pensera peut-être que ces questions ne sont pas les siennes : la société décide de ce qu'elle veut, l'ingénieur lui fournit les moyens de réaliser ses fins, il n'a pas à juger celles-ci. Cependant, comme on vient de le voir, les moyens choisis peuvent être moralement coûteux, au point de remettre en cause la bonté morale des fins.

Une éthique de conviction qui se désintéresse complètement des moyens mis en œuvre et de leurs conséquences est en somme une éthique à courte vue, de peu d'utilité pour l'ingénieur. C'est pourquoi l'éthique qui semble la plus appropriée à l'ingénieur est l'éthique de responsabilité, celle qui met l'accent sur les conséquences de l'agir technique. C'est en tout cas ce qui ressort de la charte d'éthique de l'ingénieur de la société des ingénieurs et scientifiques de France (IESF) : indéniablement, celle-ci insiste bien davantage sur la responsabilité de l'ingénieur au regard de la société, que sur sa capacité de se forger des convictions et de s'y tenir.

Cependant, nous rencontrons à nouveau une difficulté. Weber lie explicitement l'éthique de responsabilité à la possibilité d'anticiper les conséquences de l'action : « Nous devons répondre des conséquences *prévisibles* de nos actes », écrit-il ; ou encore : le partisan de l'éthique de responsabilité assumera les conséquences de ses actes « *pour autant qu'il aura pu les prévoir* ». Or, les techniques ont bien souvent des conséquences qui n'ont pas du tout été prévues au départ, et qui ne pouvaient pas l'être. C'est même un leitmotiv des études philosophiques et sociales sur la technologie : les effets de celle-ci, sur la nature ou sur la société, excèdent toujours les intentions des ingénieurs. Peut-on tenir l'ingénieur pour responsable de ce qu'il n'a pas pu prévoir, compte tenu du fait que les conséquences des techniques ne peuvent justement pas être anticipées de façon exhaustive ?

On pensera peut-être que grâce à une amélioration des connaissances et des méthodes d'anticipation de l'avenir, l'ingénieur renforcera sa capacité de prévoir jusqu'à combler le hiatus entre le présent et le futur. Or, cet optimisme occulte le fait que l'imprévisibilité des conséquences de l'agir technique ne résulte pas d'un déficit de connaissance seulement. Elle tient à la nature même des êtres techniques que l'ingénieur fait exister. Comme l'avait bien vu Hannah Arendt (2012), notre agir technique consiste moins, désormais, à fabriquer des objets destinés à prendre place dans le monde (ce qui autorise un savoir complet de ce qui va se passer : le fabricant d'une horloge sait exactement ce que l'horloge fera demain, comment elle se comportera), qu'à déclencher des processus sur lesquels nous n'avons pas une maîtrise pleine et entière (l'ingénieur qui modifie génétiquement des vivants peut se trouver dans l'incapacité d'anticiper le comportement futur de ces nouveaux êtres – c'est la raison pour laquelle il peut être amené à se prémunir contre les mauvaises surprises par des ruses, par exemple en introduisant un mécanisme de mort programmée dans l'ADN du vivant modifié).

Dans le jargon philosophique, on dit que l'incertitude n'est pas seulement épistémique (s'expliquant par un manque de connaissance), mais aussi ontologique (liée à la nature des êtres techniques portés à l'existence, et aux types de connexions qu'ils nouent à d'autres êtres du monde). Il faudrait même élargir le propos de Arendt et reconnaître que toute technique, non seulement celles

qui procèdent d'un déclenchement de processus nouveaux dans la nature, mais aussi celles qui procèdent d'une fabrication plus traditionnelle, peut conduire à des conséquences imprévisibles. Reprenons l'exemple de l'horloge, qui paraissait illustrer la parfaite maîtrise des conséquences de nos objets techniques : l'historien américain Lewis Mumford (2016) a bien montré comment la diffusion de l'horloge mécanique au Moyen Âge, dans les monastères pour commencer, avait entraîné une transformation en profondeur du rythme des activités humaines, en les rendant dépendantes d'un temps devenu mesurable avec exactitude. Les conséquences sociales et économiques de la mesure mécanique du temps ont été considérables, or cela n'était pas prévisible. Aujourd'hui, le comportement d'un téléphone mobile est bien plus proche de celui de l'horloge que de celui d'un OGM, l'idée que nos smartphones puissent manifester des comportements imprévisibles, émergents comme on dit, semble absurde. Cependant, personne dans les années 1990 ne pouvait anticiper les conséquences que ce dispositif aurait sur les échanges sociaux, sur les façons de travailler ou de se divertir. L'ingénieur peut-il être tenu responsable de ces transformations en profondeur dans nos manières d'habiter le monde et d'interagir avec les êtres qui le peuplent ?

Aussi bien l'éthique de la conviction que l'éthique de la responsabilité au sens de Weber montrent ainsi leurs limites, dès lors qu'il s'agit de fournir à l'ingénieur des conseils d'orientation. Pourtant, nul doute que le bagage éthique de l'ingénieur doit contenir à la fois des convictions et un sens de la responsabilité. Un ingénieur qui ne posséderait aucune conviction morale, de même qu'un ingénieur qui se dédouanerait systématiquement de toute forme de responsabilité à l'égard de ce qu'il aura contribué à développer, sont l'avertissement et le revers de la même médaille : un ingénieur dépourvu de toute éthique. Comment sortir de cette impasse ?

Ce ne sont peut-être pas tant les convictions et la responsabilité qui posent problème ici, que la présupposition philosophique qui sous-tend chacune des deux éthiques : la présupposition que le sujet porteur de conviction et de responsabilité, qu'il soit ingénieur ou autre chose, est nécessairement un sujet rationnel, autonome et capable de maîtriser les conséquences de son action. La figure de l'ingénieur moderne est née à peu près en même temps que cette figure si particulière du sujet moral, inconnue des Grecs anciens

par exemple. Cela s'est passé au siècle des Lumières. Le fait que l'ingénieur travaille très rarement en situation d'autonomie pleine et entière ; le fait aussi qu'il soit dans l'incapacité d'anticiper toutes les conséquences de ce qu'il fait : ces deux constatations conduisent à l'impossibilité d'imputer à l'ingénieur quelque forme de responsabilité morale que ce soit, à condition toutefois d'accepter cette présupposition philosophique que seuls des êtres pleinement autonomes et maîtres des conséquences de ce qu'ils font peuvent être considérés comme moralement responsables. Une éthique de l'ingénieur ne devrait-elle pas commencer par renoncer à cette présupposition ? Quelle conception alternative du sujet moral pourrait servir de sous-bassement à une éthique de l'ingénieur ?

2] L'éthique du *care*, une éthique pour l'ingénieur ?

Il se trouve qu'une déconstruction de la conception du sujet moral héritée des Lumières (le sujet autonome et rationnel) a déjà été proposée au début des années 1980 par la psychologue américaine Carol Gilligan (2019). Ce travail de déconstruction a donné son impulsion aux éthiques dites du *care* – un terme anglais que l'on peut traduire par «soin», même si cette traduction passe pour ne pas refléter toute la richesse et la complexité du *care* tel qu'il a été théorisé (à tel point que le terme couramment employé aujourd'hui, dans la littérature francophone, est *care*: on ne traduit plus) (encadré 2).

Encadré 2. Qu'est-ce que l'éthique du *care* ?

À partir d'une critique de la théorie du développement moral de Lawrence Kohlberg, Gilligan montre que les éthiques traditionnelles sont marquées par des préjugés de genre en ceci qu'elles ne tiennent pas compte du type d'expérience morale faite par les femmes, différente de celle des hommes. En effet, tandis que les éthiques classiques, liées au vécu des hommes, font dépendre la moralité de l'autonomie et de la rationalité du sujet, l'expérience morale des femmes est davantage orientée vers la reconnaissance des interdépendances, des vulnérabilités et des relations dans lesquelles se constituent les sujets moraux. Dans cette expérience, la moralité consiste moins à faire triompher des principes (l'équité, la justice) qu'à se soucier et à prendre soin de ce qui nous fait être et nous rend vulnérables : ce dont nous dépendons, les relations qui trament nos existences. L'éthique du *care* veut faire entendre cette

«voix différente» de l'expérience morale humaine, réduite au silence par les éthiques traditionnelles.

Certaines théoriciennes du *care* ont par la suite reproché à Gilligan d'avoir précisément fait du *care* une expérience morale spécifiquement féminine. Selon ces critiques, en assignant aux femmes des comportements valant comme normes (il est attendu des femmes qu'elles se consacrent au soin et aux activités qui s'y rattachent), Gilligan contribuerait à renforcer les inégalités de genre plutôt que le contraire. Les femmes se trouveraient «naturellement» vouées au *care*.

La politologue Joan Tronto a ainsi cherché à dénaturer le *care* en le considérant comme une activité de travail accompli par certains agents sociaux dans le cadre d'institutions. Tronto décline l'activité de *care* en quatre phases : se soucier d'un besoin qui demande à être satisfait – phase de l'attention (*caring about*) ; prendre en charge le besoin identifié en estimant les moyens de le satisfaire – phase de la responsabilité (*taking care of*) ; dispenser effectivement le soin, par des actes appropriés – phase de la compétence (*care giving*) ; évaluer les effets de l'activité de *care* au regard du besoin initial – phase de la capacité de réponse (*care receiving*).

Le concept de *care* est-il de nature à fournir aux ingénieurs une orientation éthique ? Bérénice Fischer et Joan Tronto en donnent la définition générale suivante :

Une activité générique qui comprend tout ce que nous faisons pour maintenir, perpétuer et réparer notre «monde», de sorte que nous puissions y vivre aussi bien que possible. Ce monde comprend nos corps, nous-mêmes et notre environnement, tous éléments que nous cherchons à relier en un réseau complexe, en soutien à la vie (Tronto 2009).

Cette définition du *care* semble mettre au premier plan le rôle de l'ingénieur puisqu'il s'agit de «maintenir, perpétuer et réparer notre "monde"» : or, pour cela, ne faut-il pas de la technique ? Les choses sont cependant loin d'être aussi simples et l'idée que l'ingénieur puisse être un acteur du *care* ne va pas de soi.

En effet, en première analyse, s'il y a du sens à dire que l'ingénierie se rapporte au soin, c'est essentiellement dans les termes d'un impératif que le philosophe allemand Emmanuel Kant appelait hypothétique : «si... alors» – s'il veut obtenir le succès, alors

l'ingénieur doit être précautionneux, soigneux avec ses outils et avec les matériaux sur lesquels il agit. Toutefois, l'ingénierie n'est généralement pas tenue comme un soin au sens de ce que Kant appelait un impératif catégorique, c'est-à-dire moral, comme peut l'être la médecine par exemple. L'obligation morale faite au médecin de ne pas seulement être précautionneux en manipulant des corps-objets, mais de ne jamais oublier que ces corps-objets sont aussi des corps-sujets, réclamant de sa part une écoute, une attention irréductible à la méticulosité des gestes et des procédures techniques : cela ne concerne apparemment pas l'ingénieur, y compris lorsque son domaine d'intervention est l'humain lui-même.

Cette occultation de la technique est d'ailleurs patente dans les éthiques du *care* elles-mêmes. Selon Gilligan, le *care* est certes une disposition (reconnaître un besoin, une vulnérabilité, et s'en préoccuper) qui est à l'origine d'une action effective. Cependant, la dimension technique de celle-ci n'appartient pas au *care* lui-même. Elle est inessentielle. Dans la définition du *care* de Tronto et Fischer, la dimension technique est un peu mieux intégrée, mais elle reste limitée. La deuxième et la troisième phases du *care* impliquent respectivement une expertise en vue d'estimer correctement les moyens les plus appropriés pour obtenir un résultat, et des compétences techniques pour leur mise en œuvre : le *care* a indéniablement une dimension technique, mais celle-ci consiste à trouver les bonnes solutions pour répondre à un besoin préalablement identifié. Au regard du *care*, l'ingénieur se pense selon la dualité des besoins (les fins) et des solutions (les moyens).

Pire, l'ingénieur contemporain est même parfois considéré comme un fauteur d'incurie (le contraire du *care*), et ceci pour ainsi dire par nature. Ainsi, la littérature en éthique médicale oppose encore souvent le *care* véritable et la médecine technoscientifique (c'est-à-dire la médecine vue par des ingénieurs). D'autres voix se font il est vrai entendre sur ce sujet, mais elles sont en minorité. À l'appui de la thèse encore dominante, opposant ingénierie et *care*, ne faut-il pas reconnaître que l'ingénieur a été un acteur majeur de l'industrialisation à base d'énergies fossiles telle qu'elle s'est développée depuis plus de deux siècles, promoteur de « techniques zombies » (cf. chapitre II) et donc des graves manquements au *care* (de la nature et des vivants, humains compris) dont elle s'est rendue coupable ?

Comment se sortir de cette opposition ? Il faut d'abord remarquer que cette exclusion réciproque de la technique de l'ingénieur et des valeurs du *care* est d'apparition récente. Dans l'Antiquité grecque, et jusqu'au XVIII^e siècle, la technique a été au contraire pensée comme une activité de soin, non pas seulement dans son acception de méticulosité et de précaution en vue du succès (le sens hypothétique de l'impératif de *care*), mais aussi dans un sens davantage orienté vers des valeurs à défendre (le sens déjà moral de l'impératif de *care*). Ainsi, comme le souligne Arendt, pour les Grecs anciens il était impératif, moralement et politiquement parlant, de prendre soin du monde et donc des «œuvres» qui lui assuraient stabilité et durabilité. S'il n'est pas entretenu, s'il n'est pas l'objet d'un soin, le monde humain et l'ensemble des choses au sens large qu'il contient (objets d'usage, outils, mais aussi institutions) se délabrent. Les techniques n'étaient pas soumises à une évaluation en termes d'efficacité seulement : elles relevaient d'une évaluation à caractère moral et politique. Elles étaient nécessaires à la perpétuation du monde et d'un espace public, c'est-à-dire d'un espace au sein duquel le sens moral et politique des hommes libres pouvait s'épanouir.

Les questions qui se posent à nous aujourd'hui sont indéniablement à la dimension de celles que les Grecs se posaient à propos de leurs techniques : comment assurer la durabilité du monde ? On voit bien que dans leur définition du *care*, Tronto et Fischer font elles aussi du *care* la question fondamentale d'un monde durable et vivable – comme les Grecs. Bien sûr, les termes dans lesquels nous posons le problème de la durabilité du monde ne sont pas du tout ceux des Grecs. Les coordonnées ont profondément changé. À leurs yeux, les choses ont en effet une essence, ce que Platon appelle *eidos*, c'est-à-dire qu'elles sont définies par des caractéristiques fixées une fois pour toutes, et qui résument ce qu'elles sont. Les choses sont destinées à occuper une place fixe et bien définie dans le monde, elles sont de ce fait des conditions de la solidité du monde humain. Or, pour les ingénieurs d'aujourd'hui, le problème est moins de s'assurer que les choses restent bien à leur place, correspondant à leur essence, que d'anticiper les manières dont les dispositifs qu'ils portent à l'existence vont se connecter à toutes sortes d'entités, naturelles ou non, tout au long de leur cycle de vie. La durabilité n'est plus une affaire de stabilité voire d'immuabilité,

mais au contraire une affaire de relations, de trajectoires et de flux. Il ne s'agit plus de défendre le monde humain par l'activité industrielle contre le pouvoir d'érosion de la nature, mais au contraire de défendre la nature et les vivants qui la peuplent contre les emportements de l'activité industrielle humaine.

Cette conception ancienne nous met sur la voie d'une autre éthique pour l'ingénieur dans laquelle l'activité technique est en son essence une activité de *care*, c'est-à-dire de soin aux deux sens de l'être soigneux et précautionneux mais aussi du «prendre soin» du monde. Comment cela peut-il se décliner concrètement aujourd'hui, contre l'idée, fausse, que l'ingénieur est par principe étranger au *care*?

3] Prendre soin des milieux

On s'étonnera peut-être que puisse perdurer cette figure de l'ingénieur étranger aux valeurs du *care*, tant sont popularisées aujourd'hui les initiatives de toutes sortes qui, au contraire, font de l'ingénieur un acteur central de la transition écologique et donc du «soin de la nature». *Green tech*, *sustainable engineering*, éco-conception, économie circulaire, biomimétisme, *low tech*, la liste est longue des labels qui placent l'ingénieur au cœur des défis écologiques contemporains. Ces défis se traduisent en visées de conception qu'énumère par exemple le Shift Project : sobriété énergétique et matérielle, faibles émissions de GES, compatibilité avec le vivant, utilisation de matériaux biosourcés, recyclabilité, biodégradabilité, autonomie. L'ingénieur dispose d'outils pour cela, comme les outils de comptabilité carbone, les analyses de cycles de vie ou encore le *sourcing* des matériaux. Ne faut-il pas voir en lui, désormais, un acteur décisif du *care* de la nature et des vivants en général?

C'est exact et nul ne peut nier l'utilité des outils et des méthodologies de l'ingénieur, à base de modélisation et de quantification, pour évaluer l'impact écologique des technologies. Un dispositif technique dépend de filières extractives pour les matériaux qui le composent, ainsi que d'une source d'énergie et d'une source d'approvisionnement en eau, aussi bien pour sa fabrication que pour son fonctionnement. L'empreinte écologique d'une technologie peut se mesurer (même si cette mesure peut soulever de réelles difficultés méthodologiques) et celle-ci donne une orientation claire à l'ingénieur : réduire cette empreinte en réduisant la quantité des intrants, en se préoccupant

des déchets et de leur devenir, etc. Toutefois, le même dispositif produit aussi ce que nous avons appelé des «effets de *milieu*», or les outils et méthodes d'évaluation de l'empreinte écologique des technologies ne permettent pas d'appréhender ceux-ci de façon satisfaisante. Ces effets de milieux nous placent face à une forme de responsabilité, alors même que les conséquences de nos actions ne sont pas toujours déterminables.

Rappelons quelques acquis des chapitres précédents concernant le concept de milieu, et précisons en quoi l'ingénierie «orientée milieu» est de facto une ingénierie orientée par le *care*.

* Le milieu n'a pas de frontières bien délimitées au départ, fixées une fois pour toutes, on ne sait pas a priori ce qu'il contient et jusqu'où il s'étend, on ne connaît pas à l'avance son périmètre. Si je décortique un dispositif technique en vue d'inventorier exhaustivement tous les matériaux qu'il contient, que j'entreprends de «sourcer» ceux-ci afin d'établir la carte complète de tout ce avec quoi le dispositif est en connexion, toutes les filières dont il dépend : je vais pouvoir identifier des leviers d'action et c'est évidemment très précieux. Ainsi, Fairphone affiche l'objectif de retracer les chaînes d'approvisionnement des matériaux qui entrent dans la composition de ses smartphones, depuis la mine jusqu'à la fabrication. Cependant, comme nous l'avons vu, la diffusion de la téléphonie mobile, puis des smartphones, a aussi contribué à reconfigurer en profondeur nos activités sociales de telle façon que nous n'apprenons plus, nous ne communiquons plus, nous ne nous distrayons plus comme avant. C'est ce que nous appelons «effets de milieu». Nul n'aurait pu prédire l'ampleur des transformations psychosociales liées aux smartphones, ni dans quelles échelles d'espace et de temps ces effets devaient se produire. S'il s'avère difficile de «sourcer» tous les intrants d'un smartphone, rendant extrêmement complexe la démarche de Fairphone, du moins la possibilité d'atteindre l'exhaustivité dans ce domaine existe-t-elle en droit. Il n'est impossible qu'un jour, en y mettant le temps et l'opiniâtreté qu'il faut, les obstacles aient été levés un à un et que l'objectif d'un smartphone entièrement «sourcé» soit atteint. Mais même en supposant que l'on dispose de l'information complète, demeurent des «problèmes d'allocation» (cf. chapitre 10) qui réintroduisent des questions de valeur. Un milieu ne se laisse pas totaliser, et ceci par principe. Pour parodier une célèbre formule du philosophe Spinoza,

nul ne sait ce dont un milieu est capable (Spinoza disait en substance : nul ne sait ce que peut un corps).

Prenons un autre exemple : la dialyse. Un générateur de dialyse a pour fonction de pallier l'insuffisance rénale chronique lorsque celle-ci dépasse une certaine gravité, il s'agit d'une sorte de rein artificiel. L'ingénieur peut se préoccuper de l'empreinte écologique du dispositif et l'envisager sous l'angle des matériaux qui le constituent, ou de la quantité d'eau nécessaire à son fonctionnement (une dialyse consomme plusieurs centaines de litres d'eau). Il pourra alors proposer des solutions pour diminuer cette empreinte : c'est ce que l'on appelle la « dialyse verte ». Toutefois, l'impact du générateur de dialyse va bien au-delà de ces considérations écologiques. Pour le comprendre, il faut revenir quelques décennies en arrière, à une époque où les infirmières avaient encore la main sur les machines. Elles paramétraient celles-ci en fonction des caractéristiques du patient. Il a cependant paru souhaitable que les générateurs de dialyse deviennent des sortes de boîtes noires, ôtant aux infirmières cette maîtrise qu'elles avaient sur le paramétrage de la machine. L'idée était d'éliminer le « facteur humain », source supposée d'erreurs potentiellement désastreuses en médecine. Pour renforcer encore la sécurité du dispositif, celui-ci a été muni de toutes sortes d'alarmes susceptibles de se déclencher à la moindre anomalie. Le résultat est que les infirmières se plaignent de ne plus « comprendre » la machine et de ses « comportements ». Le déclenchement intempestif des alarmes provoque un phénomène d'*alarm fatigue*. En résumé, faute d'avoir eu une bonne connaissance de ce qui compte dans ce milieu de soin particulier, et qu'il était important de préserver (notamment, la possibilité pour les infirmières de paramétrer elles-mêmes les générateurs de dialyse), les ingénieurs ont opté pour des choix de conception qui se sont traduits par un effet exactement opposé à celui qu'ils cherchaient. Un générateur de dialyse peut être rendu plus « vert » tout en ayant des « effets de milieu » contreproductifs.

* Tandis que les outils et méthodologies dont dispose l'ingénieur font croire à la possibilité d'une évaluation entièrement objective des effets des technologies, les milieux ont une composante subjective irréductible : ils sont toujours les milieux « de », au sens subjectif du génitif. Ainsi, pour reprendre l'exemple de la dialyse, on parle

de milieu «de» soin, au sens objectif du génitif: milieu dont l'objet est le soin, mais il faut aussi entendre qu'il s'agit du milieu «des» soignants, au sens cette fois-ci subjectif du génitif: c'est leur milieu à eux, celui au sein duquel ils déploient leurs activités. De ce fait, produire des «effets de milieu», c'est toujours produire des effets sur une subjectivité agissante – qu'il s'agisse de subjectivité humaine ou plus généralement vivante. Comme le révèle l'histoire même de la notion de milieu, celle-ci a intégré le fait que le milieu est toujours co-constitué par le vivant (humains compris) dont il est le milieu. Le vivant est façonné par son milieu, mais en retour il le façonne aussi en l'organisant selon ses valeurs – dans les termes du philosophe américain John Dewey, on dira que les vivants sont «valuateurs»³, créateurs de valeurs (Dewey 2011); dans les termes du philosophe Georges Canguilhem (2000), on dira aussi que les vivants exercent une «normativité» sur leurs milieux respectifs (cf. **chapitre 2**). Ces valeurs sont des valeurs vitales mais aussi, dans le cas des milieux humains, des valeurs sociales, culturelles, éthiques.

L'évaluation sur la base d'indicateurs objectifs et de mesures est donc insuffisante. Parce que les milieux sont «valués», autrement dit parce qu'ils sont structurés selon les valeurs des vivants (humains compris, toujours) dont ils sont les milieux, autrement dit: parce qu'ils sont le produit des activités «valuatrices» des vivants, les «effets de milieu» des technologies ne se limitent pas à leurs impacts quantifiables: ils affectent aussi l'activité «valuatrice» elle-même, ce qui ne peut pas être quantifié.

Précisons ce point. Dire qu'un vivant construit activement son milieu, c'est reconnaître qu'il doit être adéquatement équipé pour cela, soit par ses instruments de vie natifs, soit par des instruments artificiels qui le suppléent (la technique n'étant pas l'apanage des vivants humains). Le vivant doit disposer de la capacité à organiser son milieu, par ses instruments de vie. Prendre soin, c'est dès lors rendre les vivants *capacitaires* – et c'est a minima veiller à ce que notre activité, à nous humains, n'induisse pas une dégradation des milieux et une «désencapacitation» des vivants, humains et non humains, à se construire leurs milieux respectifs. Dès lors,

[3] Même si Dewey emploie ce concept avant tout pour parler de la création de valeurs chez les humains, et non chez les vivants en général.

l'activité de l'ingénieur ne consiste pas à proprement parler à faire le design des milieux (il se substituerait au vivant organisateur de son propre milieu, par son activité «valuatrice», en reconduisant une position d'extériorité de maîtrise qui nous renvoie à la notion d'environnement par opposition au milieu), mais à intervenir dans les milieux avec le souci d'abord de ne pas détériorer, mais aussi plus positivement de venir en appui à l'encapacitation des vivants. Une ingénierie qui prend soin des milieux et des activités «valuatrices» qui s'y déploient est une ingénierie qui pense ses dispositifs comme des propositions, et non comme des injonctions.

* Valuation, encapacitation : autant de concepts qui rejoignent l'analyse de l'ingénierie au prisme du danger de la «prolétarisation» (cf. **chapitre 13**). Prolétariser, c'est dégrader des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être. On peut dire que les infirmières de tout à l'heure, dépossédées de leur autonomie dans le paramétrage des générateurs de dialyse, ont été prolétarisées. Prendre soin des milieux, c'est chercher à éviter à tout prix ces effets de prolétarisation. Dans les milieux de travail, posséder des savoirs professionnels et des savoir-faire techniques pointus, donc difficilement substituables, c'est être en capacité de peser dans les négociations salariales, et de maîtriser ses conditions de travail. La prolétarisation est à ce titre une perte de pouvoir des travailleurs, et cela peut passer par des choix de conception technologiques. Les historiens ont ainsi mis en évidence le lien entre automatisation des activités productives, déqualification des travailleurs et perte de pouvoir de ceux-ci. Or ces effets de pouvoir des technologies ne sont pas rendus visibles par des indicateurs de mesure. C'est même le contraire, ceux-ci pouvant être au service d'une volonté de contrôle des agents et d'une limitation de leur capacité à décider eux-mêmes de leurs conditions de travail (cf. **chapitre 10**).

* Ces «effets de milieu» non quantifiables relèvent de ce que nous avons appelé la constitutivité (cf. **chapitre 6**). Les technologies ont des effets de constitutivité en ceci qu'elles contribuent activement à configurer les formes de notre expérience, de notre connaissance et de nos interactions sociales. Ainsi, un générateur de dialyse mis en boîte noire transforme l'activité de soin, les relations entre les patients et les soignants, le rapport de ceux-ci aux machines. Cela va jusqu'à faire perdre une valeur apparemment essentielle dans ce

milieu du soin : le fait d'avoir la main sur les technologies. Or cela ne se mesure pas et ne s'évalue pas en fonction d'indicateurs objectifs.

* On répondra peut-être que l'ingénieur dispose bel et bien de méthodes qui sont faites, justement, pour lui permettre de saisir les dimensions plus subjectives, non mesurables, des enjeux de conception. Par exemple, les méthodes de conception centrées sur l'utilisateur. Cependant, celles-ci présentent des limites (cf. **chapitre 8**). D'une part, si elles ont effectivement pour but d'aider le concepteur à approfondir sa compréhension des usagers futurs, cela se fait généralement dans un cadre prédéfini qui exclut la possibilité de renégocier en profondeur les finalités du projet de conception. Ces méthodes peuvent conduire à des modifications à la marge de la solution proposée, par exemple pour la rendre plus acceptable par les usagers, mais très rarement à redéfinir le problème initial. D'autre part, ces méthodes visent souvent à expliciter les « besoins » à satisfaire – une information jugée capitale pour orienter les ingénieurs. Cependant, est-il si facile d'explicitier des besoins ? Reprenons l'exemple des infirmières en unité de dialyse : interrogées sur leurs besoins, auraient-elles spontanément évoqué celui de conserver la main sur les machines et leur paramétrage ? Il s'agit, nous l'avons vu, d'une valeur essentielle à l'activité professionnelle, mais l'on peut suspecter que cette valeur, immanente à l'activité, opérationnalisée, aurait eu du mal à être formulée explicitement. Les infirmières savaient-elles, consciemment, combien il était important qu'elles puissent paramétrer la machine de façon autonome, pour le bon déroulement de l'activité de soin ? À la limite, ce n'est qu'après coup, quand justement les conditions d'effectivité de cette valeur ont été dégradées (quand le générateur de dialyse est mis en boîte noire), que celle-ci apparaît essentielle – et perdue... Les « besoins » ne sont-ils pas des artefacts de la méthode de conception orientée utilisateur, plutôt qu'une donnée structurante du milieu réel ?

* Cette relativisation de la pertinence du concept de « besoin » pour l'ingénierie conduit à poser une question épineuse : comment savoir à l'avance ce qui est susceptible de rendre le ou les destinataires des dispositifs d'ingénierie plus « capacitaires », dès lors que cela peut se révéler difficile à exprimer en termes de besoins ? Comment dans ces conditions déterminer a priori ce qui fera soin, ou pas ? Tronto elle-même avait soulevé la difficulté : si la première

phase du *care* consiste à identifier les besoins à satisfaire, la dernière vise à s'assurer auprès des destinataires du *care*, après coup, que celui-ci a bien atteint son objectif. Or, si cette quatrième phase du *care* est si importante, c'est précisément parce qu'on ne peut jamais avoir la certitude que l'activité de *care* ne passe pas complètement à côté, quelles que soient les précautions prises.

Donc, si une ingénierie tournée vers le soin des milieux est une ingénierie qui encapacite, et si l'encapacitation ne se laisse pas résumer à une liste de besoins à satisfaire : comment l'ingénieur peut-il s'orienter ? Reprenons l'exemple du Cybathlon (cf. chapitre 13), une compétition cycliste ayant mis en concurrence des personnes lésées médullaires équipées d'une technologie d'assistance au pédalage, conçues exprès pour la compétition par des équipes réunissant des chercheurs, des ingénieurs et les personnes handicapées. L'une de ces équipes est revenue sur cette expérience. Que s'est-il passé ? Une implication forte de la personne handicapée dans le processus de conception, ce qui s'est traduit par une amélioration de l'estime de soi, et une fois la compétition terminée, le réinvestissement d'un projet de vie. En revanche, le dispositif a quant à lui été remis au fond d'un placard et n'a pas eu de suite. Le projet s'est-il soldé par un succès ou par un échec ?

Si le critère d'évaluation est dans l'adéquation de la solution d'ingénierie apportée à un besoin bien identifié, en l'occurrence donner accès à une solution de mobilité à des personnes handicapées, force est de constater que c'est l'échec. En revanche, si le critère d'évaluation n'est pas la réponse à un besoin, mais une encapacitation plus générale des personnes, alors c'est manifestement un succès. Si le *care*, c'est rendre capacitaire, alors il est indéniable que quelque chose du *care* est passé par ce projet Cybathlon : la personne est plus capacitaire après la compétition. Ce quelque chose se laisse cependant difficilement appréhender : le dispositif de pédalage n'est apparemment pas la cause dont le *care* serait l'effet, il n'est même pas un élément causal parmi d'autres puisqu'il est complètement oublié, mis de côté. Pourtant, nul doute que la conception du dispositif a été la condition du *care*. Le *care*, comme encapacitation, n'est pas passé par le dispositif une fois qu'il a été conçu, mais par le processus même de sa conception.

Ce constat est déroutant, et ceci pour une raison qu'Aristote (1990) explique bien. Selon Aristote, il convient de distinguer deux genres d'activités pratiques : celles qui relèvent de la *poiesis* et celles qui relèvent de la *praxis*. Au nombre des premières, on compte notamment les activités de fabrication : ces activités se caractérisent par le fait qu'elles trouvent leur finalité en dehors d'elles-mêmes. Le menuisier fabrique un meuble, dès que le meuble est fini, le menuisier s'arrête : son activité a trouvé son but, qui est en même temps son terme, son arrêt, dans un objet extérieur à l'activité de fabrication. Les activités qui relèvent de la *praxis* ont au contraire leur finalité en elles-mêmes, et non dans un but extérieur. Ainsi, pour les Grecs, la moralité réside dans le perfectionnement continu de soi, tout au long de l'existence. La moralité n'est pas un état qu'il s'agirait d'atteindre une bonne fois pour toutes, mais une activité ininterrompue qui est à elle-même sa propre fin. La moralité est une activité praxique, et non poiétique. Or, l'exemple du Cybathlon brouille cette distinction puisqu'une activité fabricante semble ici relever, non de la *poiesis*, mais de la *praxis* : sa finalité, la *care* comme encapacitation, n'est pas dans le dispositif fabriqué (le dispositif d'assistance au pédalage), mais dans le processus de fabrication lui-même.

* Intégrées dans une ingénierie orientée par le *care* des milieux, les outils et les méthodes de modélisation et de quantification conservent toute leur valeur. Reprenons l'exemple de Fairphone. En «sourçant» les composants des smartphones jusqu'aux mines dont les métaux sont extraits, la démarche aboutit à rendre visible le travail des enfants dans ces mines. Les smartphones ont des effets de milieu chez nous, utilisateurs de ces dispositifs, mais aussi là-bas, là où s'originent les filières extractives dont dépend leur fabrication. «Sourcer» les métaux des smartphones, c'est rendre manifestes les effets de milieu que, depuis chez nous, nous exerçons là-bas – des effets dont nous devons alors nous soucier. L'ingénierie orientée par le *care* résulte par conséquent d'un entrelacement de deux attentions, de deux préoccupations complémentaires, tournées respectivement vers les technologies et tout ce dont elles dépendent pour leur fabrication et leur fonctionnement, et vers les milieux – la première étant subordonnée à la seconde.

4] Les deux sens du soin

Une difficulté reste cependant en suspens pour clarifier cet impératif de soin des milieux. Une distinction proposée par l'ethnobotaniste André-Georges Haudricourt (1987) permet de cerner cette difficulté et l'ambivalence de l'impératif du soin. Haudricourt distingue deux grands types d'activités techniques, dont il emprunte les modèles respectivement à l'élevage et à l'agriculture – c'est-à-dire à deux *technai* concernées au premier chef par le soin, selon les Grecs.

Un premier type d'activité technique a pour modèle l'élevage du mouton. Le berger sait exactement ce qui est bon pour ses moutons, il leur fournit tout ce dont ils ont besoin pour vivre, il leur dit exactement où ils doivent aller (au pâturage, à la bergerie), et à quel moment. En résumé, il régent l'existence des moutons en intervenant directement sur toutes les dimensions de leur vie. Selon Haudricourt, ce modèle d'activité technique trouve un parallèle en politique dans les régimes autoritaires, dans lesquels l'action s'exerce verticalement et directement.

Un second type d'activité technique a pour modèle la culture de l'igname. L'igname est un végétal si fragile que toute forme d'intervention directe sur lui conduirait à son dépérissement. Tout ce que peut faire l'agriculteur, c'est intervenir indirectement, dans l'environnement (en préparant les sols par exemple), de façon que l'igname puisse bénéficier de conditions optimales. Ce modèle d'activité technique trouve son parallèle en politique dans les régimes démocratiques, dans lesquels l'action s'exerce horizontalement et indirectement.

Les deux types d'activité technique sont des activités de soin – l'éleveur aussi bien que l'agriculteur prennent soin, mais comme on le voit, il y a deux manières bien différentes de dispenser du soin : la manière coercitive et la manière que l'on pourrait qualifier de libérale. Or, il semble que ces deux types, bien qu'étant opposés lorsqu'ils sont ramenés à leurs caractéristiques idéales respectives, ne s'excluent pas mais sont amenés au contraire à se compléter. Cela est particulièrement vrai dans le cas de l'ingénieur.

Les dispositifs que celui-ci conçoit, lorsqu'ils sont utilisés et qu'ils déploient leurs effets, ont un pouvoir « d'agentivité » désormais bien décrit par la philosophie et les sciences sociales : en vertu de leur

design et des fonctionnalités qu'ils possèdent, les dispositifs techniques peuvent contribuer à reconfigurer des manières d'être, de faire et de penser. Ils peuvent inciter à adopter certains comportements, ou bien rendre d'autres comportements plus difficiles, voire impossibles, à adopter. En somme, ils exercent sur les relations humaines et les milieux sociaux ce que l'on appelle une «normativité» qui leur est propre : ils contribuent à transformer les normes selon lesquelles les humains interagissent, travaillent, se distraient, etc.

Rapportées aux coordonnées d'Haudricourt, on dira que les dispositifs techniques peuvent avoir une action coercitive sur leurs destinataires. Ils sont du côté de l'élevage du mouton. Cependant, la philosophie et les sciences sociales sont également familières du fait que les dispositifs techniques ne sont adoptés que si leurs destinataires leur confèrent un sens, condition de leur insertion dans des milieux (de travail, de loisir, etc.). Cela suppose le plus souvent de subtiles négociations, parfois des bricolages, des adaptations des dispositifs. Nous sommes ici plutôt du côté de la culture de l'igname – c'est au demeurant ce qui a amené toute la réflexion sur les méthodes permettant d'intégrer dans les dispositifs, tout au long du processus de conception, des caractéristiques (des valeurs qui ont cours dans certains milieux, par exemple) jugées indispensables à leur succès futur dans ces mêmes milieux : sur les méthodes, en somme, permettant de faire entrer les données des milieux dans la conception des dispositifs.

L'ingénieur semble ainsi constamment pris entre deux orientations : celle de l'élevage des moutons, consistant pour lui à concevoir des dispositifs selon l'idée qu'il se fait de ses usages futurs (et comptant ainsi avec l'espoir, sinon la certitude, que les usagers futurs se conformeront docilement à cette idée, comme le mouton doit se conformer à l'idée que le berger se fait de ce qui est bon pour lui) ; et celle de la culture des ignames, consistant pour lui à concevoir des dispositifs comme de simples propositions faites à des usagers futurs, laissant à ceux-ci la possibilité de faire ce travail de traduction et d'appropriation préalable à l'utilisation effective des dispositifs (comme l'agriculteur laisse à l'igname le soin d'aller prendre dans l'environnement bien préparé et intelligemment aménagé ce qui lui permettra de se forger son propre milieu et de s'y

épanouir). L'art de l'ingénieur ne consiste-t-il pas à savoir comment placer le curseur entre ces deux orientations du soin, au cas par cas ?

5] Conclusion

Pour résumer, retenons qu'on ne peut pas savoir a priori, par les méthodes classiques de l'ingénierie, ce qui est encapacitant ni en quoi exactement consiste l'encapacitation des destinataires des technologies. On ne peut pas savoir a priori dans quelles échelles d'espace et de temps se produiront les « effets de milieu » de celles-ci. On ne peut pas faire le décompte, par avance, de tous ceux qui seront concernés par ces effets. Nulle recette de conception ne peut lever ces inconnues qui constituent, pour détourner le mot du philosophe Pascal, à la fois la misère et la grandeur propres de l'ingénieur.

La seule certitude est que les milieux sont fragiles, ce qui oblige à y faire attention et à prendre le plus grand soin lorsqu'on y introduit des éléments perturbateurs – comme des technologies. À défaut de recettes, retenons quelques conseils d'orientation pour l'ingénieur dans le souci des milieux :

■ L'ingénieur doit penser ses dispositifs non pas en termes de maîtrise des conséquences mais en termes d'insertion dans des milieux dont le périmètre n'est pas défini par lui mais par les vivants dont ils sont les milieux. Ce glissement de la maîtrise à l'insertion doit l'amener à considérer l'incertitude non pas comme ce qui doit être réduit au maximum, par toutes sortes de moyens (modélisations, scénarios d'anticipation, définition d'indicateurs, etc.), mais comme une dimension positive de la technique, condition des processus d'appropriation par les usagers.

■ L'ingénieur doit toujours s'inquiéter de ce qu'il est très important, aux yeux des destinataires de ses dispositifs, de préserver et de défendre dans les milieux où ses dispositifs vont produire leurs effets.

■ Du fait qu'il est impossible d'anticiper avec certitude ce qui produit l'encapacitation, et ce qui produit son contraire, découlent deux conséquences :

- ce n'est pas (seulement) en s'enquérant des « besoins » des usagers que l'ingénieur pourra identifier ce qu'il est important de défendre et de préserver. Les agents eux-mêmes ne le savent pas forcément, ils peuvent prendre conscience de ce qui était important quand cela a disparu ;

- rien ne permet d'affirmer a priori que la visée du *care* en ingénierie coïncide avec l'optimisation selon des indicateurs prédéterminés et la recherche des *best ways*. Les médecins savent bien qu'une solution thérapeutique sous-optimale est parfois préférable, au regard des préférences subjectives des patients.
- Quand l'ingénieur a affaire plus spécifiquement à des milieux humains, son souci de préserver ce qui est important aux yeux des agents gagne à se focaliser sur trois registres :
 1. celui des savoirs et des savoir-faire possédés par les acteurs ;
 2. celui de leur pouvoir d'agir ;
 3. celui des relations et de leur puissance de constitutivité.

Pour aller plus loin

FLANDRIN Laure & VERRAX Fanny (2019), *Quelle éthique pour l'ingénieur ?* Éditions Charles Leopold Mayer.

Une très bonne présentation de l'éthique de l'ingénieur, complète et bien argumentée, qui peut servir de manuel.

BRUGIÈRE Fabienne (2021), *L'Éthique du «care»*, PUF, «Que sais-je?».

Une très bonne synthèse sur l'éthique du *care* par une philosophe spécialiste.

Bibliographie

ARENDRT Hannah (2012), *L'Humaine condition* [1958], Gallimard.

ARISTOTE (1990), *Éthique à Nicomaque*, Vrin.

CANGUILHEM Georges (2000), *La Connaissance de la vie* [1952], Vrin.

DEWEY John (2011), *La Formation des valeurs*, La Découverte.

GILLIGAN Carol (2019), *Une voix différente. La morale a-t-elle un sexe ?* [1982], Flammarion.

HAUDRICOURT André-Georges (1987), *La Technologie, science humaine*, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.

KANT Immanuel (1993), *Fondements de la métaphysique des mœurs* [1785], Le livre de poche.

MUMFORD Lewis (2016), *Technique et civilisation* [1934], Parenthèses.

TRONTO Joan (2009). *Un monde vulnérable. Pour une politique du care* [1993], La Découverte.

WEBER Max (1959), *Le Savant et le politique* [1919], Plon.

[Table des matières]

Présentation du GIS UTSH (page 3)

Remerciements (page 5)

AVANT-PROPOS (page 7)

Partie I. Les milieux pour la conception

CHAPITRE 1 (page 13) **Mathieu Tricot**

De l'oubli des milieux aux échecs de conception

- 1] Il était une fois trois échecs...
 - 1.1] Première histoire : un portable sur la tête
 - 1.2] Deuxième histoire : milieux sous cloche
 - 1.3] Troisième histoire : techniques de la justice sportive
- 2] Les milieux résistent
 - 2.1] Retour sur *One Laptop per Child*
 - 2.2] Retour sur Biosphere 2
 - 2.3] retour sur la VAR

Encadré 1. Technodiversité des formes de l'arbitrage vidéo

CHAPITRE 2 (page 41) **Mathieu Tricot**

« Milieu » : portrait d'une notion

- 1] Une histoire la plus brève possible du milieu
 - Encadré 1. « Milieu technique », genèse d'une notion
 - Encadré 2. La controverse du déterminisme du milieu
- 2] Élargir à d'autres échelles
 - Encadré 3. La notion de milieu technique chez Leroi-Gourhan
- 3] Relations et constitutivité : « mi-lieu »
 - Encadré 4. La constitution du « milieu associé » chez Gilbert Simondon
- 4] Réflexivité : « au milieu »

Encadré 5. Le perspectivisme des milieux chez Uexküll

5] Normativité

Encadré 6. Milieux et normativité chez Georges Canguilhem

6] Trois usages de milieux pour la conception

CHAPITRE 3 (page 79) Victor Petit

Technologie du milieu *versus* ingénierie de l'environnement

1] Amis techniciens, devenons technologues

Encadré 1. Technique et technologie (et/ou design)

2] Les deux écologies

Encadré 2. Environnement/milieu, *Umgebung/Umwelt*

Encadré 3. Environnementalisme/écologisme

3] Ingénierie environnementale *versus* technologie écologique

3.1] Exemples technologiques

3.1.1] Cheminée ou thermostat ?

3.1.2] Voiture propre ou économie de la fonctionnalité ?

3.1.3] Éco-conception de la *fast fashion* ou éco-renoncement à celle-ci ?

3.1.4] Réseau électrique basé sur des énergies renouvelables ou transformation de celui-ci ?

3.2] Architecture & urbanisme

3.3] Design

3.4] Écologie industrielle

4] Au-delà de l'éco-conception : le cas des TIC

5] Conclusion. Ni *BigTech*, ni *LowTech* mais *MilieuTech*

Partie II. Concevoir par les milieux

CHAPITRE 4 (page 119) Michel Dubois & José Halloy

Le milieu des milieux : limites planétaires

1] Milieu et « système Terre »

2] Flux de matière et flux d'énergie du système Terre

Encadré 1. L'histoire du concept de biosphère

- 3] La spécificité d'une « planète vivante »
 - Encadré 2. Sommes-nous les habitants de la Terre ?
 - Encadré 3. L'usage des termes en contexte de la science écologique
- 4] La tentation de la géo-ingénierie
- 4] Conclusion

CHAPITRE 5 (page 147) **Guillaume Carnino & Laurent Heyberger**

Historicité des trajectoires technologiques

- 1] L'importance de la multicausalité en histoire
- 2] L'évolution technique: succession d'inventions ou cycles d'adaptation et d'exaptation ?
- 3] L'industrie comme changement quantitatif aboutissant à une transformation qualitative
- 4] L'efficacité sociale toujours relative et non absolue des techniques

Chapitre 6 (page 171) **Pierre Steiner**

La constitutivité technique: enjeux théoriques

- 1] De la neutralité à la constitutivité de la technique
 - Encadré 1. Des couteaux et des hommes
- 2] La constitutivité de la technique: ni cause ni effet
- 3] Solutionnisme, substitution et suppléance
- 4] L'avance de la technique
- 5] Conclusion

CHAPITRE 7 (page 193) **Charles Lenay**

La constitutivité technique: approche expérimentale

- 1] Saisie de l'outil et perception
- 2] Étude expérimentale minimaliste: le *Visual Glove*
 - Encadré 1. Tactos - Reconnaissance de formes
 - Encadré 2. Perception énaïve
 - Encadré 3. Les deux modes d'existence de l'outil
- 3] Écriture sur un plan: retour au tableau

4] Conclusion

Partie III. Chemins de la conceptionCHAPITRE 8 (page 217) **Bénédicte Rey & Nicolas Simoncini****Aller à la rencontre des milieux par l'enquête**

- 1] La gradation des méthodes
 - 1.1] Le questionnaire
 - 1.2] Le recours aux personas
 - 1.3] Le *focus group* et le *living lab* : faire venir les usagers «au labo»
 - 1.4] Les méthodes orientées usages
- 2] Petit guide de l'enquête de terrain
 - 2.1] Repeupler le milieu
 - 2.2] Repérer les réparateurs
 - 2.3] Garder à l'œil les relations de pouvoir
- 3] Conclusion

CHAPITRE 9 (page 249) **Charles Lenay****Anticiper la constitutivité : observer, tâtonner, risquer**

- 1] Voie d'observation et d'analyse pour la prise en compte de la constitutivité des milieux sociotechniques
- 2] Voie d'expérimentation et d'implication pour la prise en compte de la constitutivité des milieux sociotechniques

Partie IV. Concevoir pour les milieuxCHAPITRE 10 (page 267) **Nathalie Kroichvili & Bénédicte Rey****Évaluation, valeurs, valuation**

- 1] L'évaluation dans le milieu des ingénieurs
 - Encadré 1. Activité : déterminer un optimum forestier pour la gestion durable de la forêt
- 2] Nature et effets de l'évaluation
 - Encadré 2. Valeurs, valuation, évaluation pour John Dewey
- 3] Ne pas abandonner l'évaluation dans les projets de conception,

mais ne pas la fétichiser et veiller à l'enrichir en permanence

4] Conclusion

CHAPITRE 11 (page 293) Michel J. F. Dubois & José Halloy

Des technologies zombies aux technologies vivantes

1] Penser la soutenabilité

Encadré 1. La grande accélération (*The great acceleration*)

Encadré 2. La pensée du « *long termism* »

2] Reconnaître les zombies

3] Comment une ressource s'effondre

Encadré 3. Le syndrome des références glissantes, ou *shifting baseline* ou *sliding baseline* (Pauly 1995, Dubois 2016, p. 35-38)

Encadré 4. Temps de formation des énergies fossiles et vitesse de leur consommation

Encadré 5. Le nucléaire, un cas particulier ?

4] Techniques modernes et anomalies de la puissance

Encadré 6. Irradiation solaire et sa référence en puissance

5] Le vivant fonctionne à bas niveau d'énergie

et de consommation de matière

6] Les cinq principaux critères de zombéité des techniques

6.1] La zombéité de stocks énergétiques

6.2] La zombéité de stocks de minerais

6.3] La zombéité de puissance

6.4] La zombéité de flux

6.5] La zombéité de sénescence et de recyclage

6.6] Existe-t-il une zombéité de pollution ?

7] Temporalité et scalabilité

8] Se donner du temps : dézombifier

Encadré 7. Les cinq grandes extinctions du vivant associées à des changements d'ères géologiques

9] Qu'est-ce qu'une technique vivante ?

10] Les techniques zombies à la lumière du concept de techniques vivantes

11] La domestication, une technique réellement vivante ?

12] Dézombifier l'agriculture

13] Conclusion

CHAPITRE 12 (page 341) **Pauline Picot & Victor Petit**

La technodiversité en question

1] Les ennemis de la diversité

1.1] Taylorisme et *one best way*

Encadré 1. Le technosolutionnisme

1.2] De la scalabilité

Encadré 2. Plantatiocène

1.3] Le planificateur contre la *m tis*

2] L'optimisation défaillante

2.1] Le riz miracle ou les mirages de la scalabilité

2.1.1] Le riz « miracle » IR-8

2.1.2] Le Projet Bimas Gotong Royong : déploiement du riz IR-8 en Indonésie

2.1.3] Une résistance de la technodiversité

2.2] Standardisation *versus* « *one best way* »

2.2.1] La « guerre des écartements » dans la Grande-Bretagne du XIX^e siècle

2.2.2] La « technodiversité » condition du standard

Encadré 3. La dépendance au sentier. « *When history matters* »

3] Biodiversité et « technodiversité »

3.1] Qu'est-ce que la « technodiversité » ?

3.2] Biodiversité. Excursion darwinienne

3.3] La critique de la maximisation adaptative. De la biologie à la technologie

Encadré 4. Adaptation/adaptabilité

4] De la standardisation contre la technodiversité
  la standardisation avec technodiversité

4.1] La standardisation ne se réduit pas à l'uniformisation

4.2] La standardisation négocie et aménage un espace de technodiversité

4.3] La standardisation, dans l'interopérabilité, supporte la technodiversité

5] Conclusion

CHAPITRE 13 (page 401) **Nicolas Brault & Matthieu Tixier**

Déprolétarianisation et savoir-faire

- 1] Déprolétarianiser le milieu ?
- 2] Porter attention aux relations dans le milieu d'un projet technologique
- 3] Réaffirmer la nécessité de ne pas déqualifier les participants d'un milieu
- 4] Développer et transformer les relations pour un milieu
 - Encadré 1. Exemple du projet de consortium Ardennes Design Industries (ADI) de la chaire IDIS
 - Encadré 2. Extrait du *Agile Manifesto* (2001)
 - Encadré 3. Exemple de démarche de déprolétarianisation des milieux avec Framasoft
- 5] Conclusion

CHAPITRE 14 (page 429) **Xavier Guchet**

L'éthique, l'ingénieur et le *care*

- 1] Limites des approches classiques de l'éthique de l'ingénieur
 - Encadré 1. Éthique de la conviction et éthique de la responsabilité
- 2] L'éthique du *care*, une éthique pour l'ingénieur ?
 - Encadré 2. Qu'est-ce que l'éthique du *care* ?
- 3] Prendre soin des milieux
- 4] Les deux sens du soin
- 5] Conclusion

Concevoir, c'est produire des réalités nouvelles qui auront inéluctablement des effets sur des milieux très divers, naturels et sociaux, et à différentes échelles d'espace et de temps. Les ingénieurs, qu'ils le veuillent ou non, ont une responsabilité vis-à-vis de ces effets, alors même que leur lot commun est l'incertitude : bien souvent, ils ne peuvent pas anticiper au départ les conséquences des technologies qu'ils conçoivent et développent. En outre, la conception technologique fait systématiquement intervenir des enjeux de valeurs : celles qui animent l'ingénieur, dont il n'a pas forcément conscience et qui peuvent malgré tout orienter de façon décisive ses choix de conception ; celles aussi qui structurent les milieux dans lesquels l'ingénieur est amené, par les technologies qu'il y déploie, à produire des effets, et qu'il peut de ce fait perturber, fragiliser, menacer. Comment, dans ces conditions d'incertitude sur les effets et sur les valeurs en jeu, l'ingénieur peut-il assumer sa responsabilité ? Peut-on l'aider à renforcer sa capacité d'analyse des milieux et des valeurs qui les organisent, d'analyser aussi ses propres valeurs ainsi que l'étendue de son pouvoir d'agir ?

Ce manuel entend proposer aux ingénieurs quelques conseils d'orientation. Élaboré par un collectif d'enseignants-chercheurs en sciences humaines et sociales, issu notamment des Universités de Technologie, il est destiné en premier lieu aux étudiants ingénieurs qui se vivent au pied du mur écologique et démocratique. Le manuel leur propose une approche originale de la conception technologique, centrée sur la notion de « milieu », mieux à même de répondre aux grands défis contemporains. Il s'agit de s'engager concrètement dans la transformation de l'ingénierie et d'amener l'ingénieur à changer son regard sur la conception technologique. Pour ce faire, il est impératif de renouveler les savoirs et démarches mobilisés en conception.

Un manuel n'est pas un manifeste : il ne s'agit pas ici de livrer une énième critique de la technologie, mais plutôt de transformer concrètement les manières de faire en ingénierie, de mettre sur la table un autre modèle de conception, orienté par le soin des milieux naturels et humains. Pour cela, il est nécessaire de repenser de fond en comble l'approche des terrains de conception, mais aussi de la technologie elle-même et de rompre avec des prénotions – les différentes formes de solutionnisme technologique, l'acceptabilité, l'automatisation – qui font obstacle à la prise en compte de la complexité de l'intervention technologique.

Ouvrage publié avec le soutien du Groupe UT

materiologiques.com
Collection « Essais »

Version ebook
hors commerce



ISBN 978-2-37361-448-0



9 782373 614480 >