

BULLETIN N° 274
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES

INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES



Lundi 5 Février 2024 à 14h30

Examen de la candidature d'Alain DOHET comme membre titulaire de l'AEIS

Lundi 5 Février 2024 à 15h00

**« L'émergence cosmique des disques galactiques :
l'ordre à partir du chaos »**

Par le Directeur Christophe PICHON

Directeur de Recherche au CNRS
UMR 7095, Institut d'Astrophysique de Paris

Notre Prochaine séance aura lieu le lundi 11 Mars 2024 de 14h30 à 17h

**Salle Annexe Amphi Burg
Institut Curie, 12 rue Lhomond – 75005 Paris**

Elle sera consacrée :

- à 14h30, à l'examen de la candidature de Madame Marie Dutreix à l'AEIS
- à 15h précises, à la conférence du Directeur Pr. Vincent BONTEMS :

« Sur les frontières de la science »

Par le Directeur Vincent BONTEMS

*Directeur de recherche au CEA
Philosophe des sciences et des techniques
Co-directeur du master Management de la Technologie et de l'Innovation de PSL
Directeur de la collection "L'Âne d'or" aux Belles Lettres.*

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences
Siège Social : 5 rue Descartes 75005 Paris
Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES

PRÉSIDENT : Pr Victor MASTRANGELO
VICE-PRÉSIDENTE : Dr Edith PERRIER
VICE PRÉSIDENT BELGIQUE(Liège) : Pr Jean SCHMETS
VICE-PRÉSIDENT ITALIE(Rome) : Pr Ernesto DI MAURO
VICE-PRÉSIDENT GRÈCE (Athènes) : Pr Anastassios METAXAS

SECRÉTAIRE GENERAL : Eric CHENIN
SECRÉTAIRE GÉNÉRALE adjointe : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIERE GÉNÉRALE : Françoise DUTHEIL

MEMBRES CONSULTATIFS DU CA :
 Gilbert BELAUBRE
 Michel GONDRAN

PRÉSIDENT FONDATEUR : Dr. Lucien LÉVY (†)
PRÉSIDENT D'HONNEUR : Gilbert BELAUBRE

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIÈRE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES : Pr Ernesto DI MAURO

CONSEILLERS SPÉCIAUX :
ÉDITION : Pr Robert FRANCK
RELATIONS EUROPÉENNES : Pr Jean SCHMETS
RELATIONS avec AX : Gilbert BELAUBRE
RELATIONS VILLE DE PARIS et IDF : Jean BERBINAU et Michel GONDRAN
MOYENS MULTIMÉDIA et UNIVERSITÉS : Pr Victor MASTRANGELO et Eric CHENIN
RECRUTEMENTS : Pr Paul Louis MEUNIER (coordination), Jean BERBINAU, Anne BURBAN, Pr Christian GORINI, Pr Jacques PRINTZ,
SYNTHÈSES SCIENTIFIQUES : Dr Jean-Pierre TREUIL, Marie Françoise PASSINI
MECENAT : Pr Jean Félix DURASTANTI (coordination), Jean BERBINAU, Anne BURBAN
GRANDS ORGANISMES DE RECHERCHE NATIONAUX ET INTERNATIONAUX
 Pr Michel SPIRO
THÈMES ET PROGRAMMES DE COLLOQUES : Dr Johanna HENRION-LATCHE et Pr Jean SCHMETS

SECTION DE NANCY :
PRÉSIDENT : Dr Sylvie PIERRE
SECTION DE REIMS :
PRÉSIDENTE : Dr Johanna HENRION-LATCHE

Février 2024

N°274

TABLE DES MATIERES

p. 03 Séance du 5 Février 2024 :

- Examen d'une candidature comme nouveau membre titulaire de l'AEIS
- Conférence du Directeur Christophe PICHON

« *L'émergence cosmique des disques galactiques : l'ordre à partir du chaos* »

p. 10 Documents

Prochaine séance : lundi 11 Mars 2024 à 14h30, consacrée :

- à 14h30, à l'examen de la candidature de Madame Marie Dutreix à l'AEIS
- à 15h précises, à la conférence du Directeur Vincent BONTEMS :

« Sur les frontières de la science »

Par le Directeur Vincent BONTEMS

Directeur de recherche au CEA

Philosophe des sciences et des techniques

Co-directeur du master Management de la Technologie et de l'Innovation de PSL

Directeur de la collection "L'Âne d'or" aux Belles Lettres.

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences
 Siège Social : 5 rue Descartes 75005 Paris
 Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES

Séance du Lundi 5 Février 2024

La séance est ouverte à 14h30, sous la Présidence de Victor MASTRANGELO

- **Étaient présents physiquement nos Collègues membres titulaires de Paris** Jean BERBINAU, Anne BURBAN, Jean-Félix DURASTANTI, Françoise DUTHEIL, Michel GONDRAN, Irène HERPELITWIN, Victor MASTRANGELO, Paul Louis MEUNIER, Jacques PRINTZ, Denise et André PUMAIN, Jean SCHMETS et Jean-Pierre TREUIL
- **Était présent physiquement notre Collègue membre correspondant de Paris** Benoît PRIEUR
- **Était excusé physiquement pour raisons de santé notre Collègue** Gilles COHEN-TANNOUDJI
- **Étaient connectés à distance nos Collègues** Gilbert BELAUBRE, Jean-Louis BOBIN, Éric CHENIN, Johanna HENRION-LATCHÉ, Abdel KENOUIFI, Antoine LONG, Philippe MOINGEON, Edith PERRIER, Sylvie PIERRE, et Enrico SARTORI

Candidature d'Alain DOHET comme membre titulaire de l'AEIS

L'AEIS avait reçu la candidature d'Alain DOHET comme membre titulaire. La candidature était dûment étayée par un CV et une lettre de motivation. Ces documents ont été présentés en séance aux membres titulaires présents.

Alain DOHET est Ingénieur Général de l'Armement. Quoique sa carrière se soit déroulée au sein du Ministère des Armées et qu'il n'ait pas mené d'activité de recherche, ses fonctions très techniques l'ont conduit à rester au contact du monde scientifique et académique, et il a entretenus des liens fréquents avec de multiples laboratoires (CEA, INRIA, ONERA, Écoles) pour exprimer les besoins du Ministère des Armées en matière de recherche en architecture et maîtrise des systèmes de systèmes, et pour financer et suivre les projets afférents.

Par ailleurs, depuis sa retraite, Alain DOHET a suivi deux cursus de formation en astrophysique à l'Observatoire de Paris, sanctionnés par des diplômes universitaires.

La candidature d'Alain DOHET a été jugée particulièrement pertinente, et elle a été approuvée à l'unanimité.

Conférence du Directeur Christophe PICHON

« L'émergence cosmique des disques galactiques : l'ordre à partir du chaos »

La conférence a débuté à 15h00 et elle a été enregistrée via Zoom. Nous rappelons ci-dessous les résumés en français et en anglais, et nous présentons à la suite une synthèse de la conférence et des riches échanges qui ont suivi, rédigée, dans le cadre du comité des synthèses, par nos collègues Jean-Pierre Treuil, Abdel Kenoufi et Michel Gondran.

Tous ces documents, ainsi que le support de présentation, et l'enregistrement vidéo de la conférence et des échanges associés, sont disponibles sur le site Web de l'AEIS, dans la rubrique "Comptes-rendus".

Résumé :**L'émergence cosmique des disques galactiques : l'ordre à partir du chaos**

Une modélisation précise de la diversité morphologique des galaxies en fonction du temps cosmique est essentielle pour contraindre notre modèle cosmologique avec précision. Alors que la résilience des disques galactiques minces est une énigme dans le cadre du scénario hiérarchique, il apparaît maintenant que leur autorégulation par dissipation est essentielle pour expliquer leur survie. Leur morphologie initiale est déterminée par l'acquisition de moment angulaire, provenant d'échelles plus grandes, qui sont moins denses, donc plus stationnaires. Cette accretion cosmique crée un réservoir d'énergie libre dans le milieu circum-galactique, à partir duquel les disques construisent spontanément une boucle de contrôle par effets de marées qui les maintient proche de leur stabilité marginale. Les disques galactiques minces sont donc des structures émergentes, maintenues par auto-organisation critique.

Summary:**Cosmic emergence of galactic discs: order from chaos**

A precise modelling of galaxies' morphological diversity along cosmic time is essential to accurately constrain our cosmologic model. While resilience of thin galactic discs is an enigma within the hierarchical scenario, it now appears that their self-regulation through dissipation is essential to explain their survival. Their initial morphology is determined by the acquisition of an angular momentum, coming from larger scales, which are less dense, thus more stable. This cosmic accretion creates a reservoir of free energy in the circum-galactic environment, from which discs spontaneously build a control loop through tidal effects which maintain them close to their marginal stability. Thin galactic discs are thus emergent structures, maintained through critical self-organization.

Compte-rendu de la conférence et des échanges qui ont suivi :

(Compte-rendu rédigé par Jean-Pierre Treuil, Abdel O. Kenoufi et Michel Gondran)

L'émergence cosmique des disques galactiques^{*}

L'ordre à partir du chaos

Christophe Pichon
Institut Astrophysique de Paris
Collaboration Horizon
Korean Institute of advanced Studies

Compte rendu rédigé par Jean Pierre Treuil, Abdel Kenoufi, Michel Gondran
Académie Européenne Interdisciplinaires des Sciences

23 février 2024

1 Un rappel

Dès le point final mis par E. Hubble au "Grand Débat" sur la nature de certaines nébuleuses, devenues "nébuleuses extragalactiques" puis galaxies, les chercheurs se sont intéressés aux diverses formes de ces objets et leurs transformations. Ainsi, en 1926, puis en 1936 (*The Realm of the Nebulae*), Hubble publiait un diagramme en "diapason", avec un manche constitué de galaxies dites "elliptiques", d'excentricité croissante et deux branches de galaxies spirales. Il pensait alors que cette séquence correspondait à un ordre chronologique d'évolution, les elliptiques se transformant peu à peu en spirales. Les premières ont ainsi été qualifiées de "précoces" et les secondes de "tardives". Mais ce vocabulaire a abandonné sa signification chronologique et n'est plus qu'un schéma de classification encore utilisé aujourd'hui. De fait, c'est plutôt l'évolution inverse qui semble avoir l'avantage à l'heure actuelle, les spirales apparaissant les premières dans l'histoire de l'univers.

De fait, les dynamiques concernées sont beaucoup plus complexes qu'on l'imaginait au départ, et Christophe Pichon (CP ci après) va traiter de questions constituant actuellement un thème de recherche actif : dans quels environnements naissent les galaxies, quels sont les processus en oeuvre dans ces naissances et dans la genèse des formes initiales, quels sont les poids respectifs de ces divers processus, qu'est ce qui explique la prévalence initiale des galaxies spirales; quelles migrations et transformations effectuent-elles ensuite, peut-il y avoir pour ces transformations des "retours en arrière", existe-t-il des mécanismes de stabilisation morphologique; quelles sont les caractéristiques mécaniques et physiques se modifiant au cours de ces transformations et comment ?

2 Les disques galactiques, incongrus dans un univers chaotique ?

Au début de sa conférence, CP évoque l'intérêt qu'il porte depuis longtemps à la notion d'émergence, notamment pluridisciplinaire; émergence comme "apparition de structures nouvelles et cohérentes, par auto-organisation dans des systèmes complexes". Contrôlées par des lois simples - essentiellement celles de la gravitation - la genèse et l'évolution des disques galactiques, dans un univers en expansion et au sein d'un environnement complexe et chaotique lui paraissent en effet relever d'une telle notion, bien que curieusement cette dernière soit peu

^{*}Conférence de C. Pichon faite le 5 février 2024 lors de la séance mensuelle de l'AEIS du même jour

utilisée en astrophysique. Toujours en préambule, CP mobilise un exemple très parlant pour nous faire comprendre ce qu'est un système ouvert et dissipatif, recevant de son environnement de l'énergie libre dont une partie, sous forme de travail, donne au système une forme ordonnée, la maintient voire la renforce.

Après ce préambule, CP nous donne plusieurs exemples de disques galactiques, à commencer par notre galaxie, vue par le satellite Gaïa et d'autres instruments. Il présente également des images de galaxies en train de fusionner, avec les modifications morphologiques qui accompagnent ces événements majeurs et fréquents à l'échelle de la vie de ces objets, et des exemples de résidus de fusions. CP rappelle aussi le comportement cinétique de différents fluides : (pseudo) fluides d'étoiles, fluides de matière noire (sans collisions), fluides de gaz (avec collision).

Puis il pose la question : alors que ces disques galactiques paraissent fragiles, incongrus dans cet univers chaotique, comment se fait-il qu'ils soient majoritaires, "omniprésents" au sein de cette zoologie. Comment se fait-il qu'une galaxie reste sous forme d'un disque très aplati, alors qu'elle est constamment affectée par des événements très énergétiques¹. Il prépare la réponse en étendant le champ de vision, depuis l'environnement galactique immédiat - où l'on aperçoit la trace des courants de gaz alimentant un disque galactique, jusqu'aux grandes échelles de la toile cosmique, avec ses vides, ses filaments et ses noeuds, et où la distribution spatiale des galaxies est tout sauf aléatoire². Ces images suggèrent que la relative permanence du réseau filamentaire de gaz froids alimentant les galaxies soit déterminante quant aux lieux où naissent puis migrent ces dernières et quant à la direction et l'intensité de leurs moments angulaires ; et qu'en retour les galaxies puissent à plus court terme, dans leur environnement proche, interagir avec les extrémités de ces filaments pour ajuster les flux rentrants. Le cadre des thèses qu'il va développer est maintenant en place.

3 Genèse et Résilience des disques galactiques

CP en vient donc à nous présenter, sous un mode pédagogique faisant appel à nombre d'analogies avec "la vie courante", les idées qu'il défend avec de nombreux collaborateurs³ et qui ont fait l'objet de nombreuses publications dans les décades 2000, 2010, 2020. Publications qui exploitent notamment les résultats de *simulations* (MareNostrum, collaboration Horizon, NewHorizon) : simulations couplant la dynamique de la matière noire et la formation et l'évolution de la toile cosmique, la dynamique des gaz, la formation des galaxies. Donc des simulations s'étendant spatialement sur plusieurs dizaines de mégaparsecs avec des résolutions descendant jusqu'à quelques dizaines de parsecs. Ces idées associent deux mécanismes, apparition/mise en place des disques et maintenance/résilience. Le coeur de ces idées réside ainsi,

1. apparition/mise en place : dans le rôle donné à la toile cosmique et à sa relative permanence, plus précisément à l'anisotropie des directions des filaments se rencontrant en un noeud donné, et à la cinétique de la matière noire et des courants de gaz froids circulant autour et dans ces filaments ; structure de la toile et cinétique des courants déterminant la genèse de disques galactiques très aplatis et imprimant sur ces disques des vitesses de rotation angulaires stratifiées⁴

1. Comme le rappelle dans l'introduction d'une publication (De Rijcke 2019) un collaborateur de CP : *The causes and the life expectancy of spiral structures of galaxies are still uncertain.*

2. Dans l'univers, les galaxies sont en effet principalement réparties le long de filaments de gaz très ténus - cf observations de l'instrument MUSE du VLT dans l'univers jeune - et dans leurs jonctions. Filaments longs de millions d'années-lumière, entre lesquels règnent des vides, et qui forment la toile cosmique.

3. Citons notamment Charlotte Welker, Yohan Dubois, Julien Devriendt, Sandrine Codis, Dmitri Pogosyan, Sven de Rijcke...

4. Pour reprendre une des diapositives de CP : Les disques se (re)forment parce que les grandes structures sont jeunes dynamiquement et anisotropes. Elles induisent une advection de gaz froid le long des filaments, qui se stratifie pour (re) construire continuellement les disques.

2. maintenance/résilience : dans la proposition de mécanismes stabilisant les formes et cinétiques acquises en compensant certains des événements perturbateurs externes (fusions mineures, passages à proximité, accrétions) ou internes (explosions de supernovae, turbulences diverses...).

Concernant la genèse, CP rappelle plusieurs faits : 1) la structure stratifiée d'un disque galactique, dont les anneaux externes tournent angulairement plus vite que les anneaux proches du centre; 2) le fait que la toile cosmique, sous-tendue par la matière noire, évolue certes au cours du temps; mais le temps dynamique⁵, pour une échelle donnée, est inversement proportionnel à la racine carré de la densité mesurée à cette échelle. A grande échelle il ne se passe pas grand chose. C'est au voisinage et à l'échelle des connexions entre filaments, où la densité est plus forte, que l'évolution est plus rapide. Des images à différentes échelles, issues de simulations et superposant des états de la toile prise sur une succession d'époques montrent bien ces différences de rythmes; 3) le comportement "collisionnaire" des flux de gaz, lorsqu'ils se rencontrent sur les filaments, fait que ces flux vont se concentrer sur ces derniers en reproduisant la toile cosmique mais de façon plus contrastée.

Concernant la résilience, CP avance l'existence d'une *boucle de rétroaction* ayant pour origine les marées provoquées par l'induction momentanée d'un potentiel gravitationnel lié à un événement perturbateur. L'étude de la réaction à une telle perturbation gravitationnelle d'un disque auto-gravitant et déjà structuré en un ensemble stationnaire d'orbites circulaires - un disque "froid" - avait déjà été menée dans les années 1975/1980⁶. Cette réaction consiste d'abord dans une *amplification* : la masse des corps concernés par la marée dans le disque est plus de cent fois supérieure à la masse en jeu dans l'événement perturbateur. Amplification liée aux corrélations à longue portée liant les modifications orbitales potentielles des objets du disque. Elle consiste aussi en un renforcement de la "rigidité" du disque, son côté "froid", caractérisé par des corrélations encore plus longues et une capacité de réaction aux événements futurs encore plus rapide. Formellement, cette boucle de rétroaction mobilise un *paramètre de stabilité marginale* Q . Elle alterne les phases de stabilisation (Q décroissant) et de déstabilisation (Q croissant) avec un bilan amenant (sauf perturbation majeure, comme par exemple la fusion avec une galaxie de masse équivalente) la galaxie dans un état de *stabilité marginale*.

Mais les termes de rigidité et de stabilité sont trompeurs pour saisir l'état de ces disques ainsi "refroidis". Il s'agit plutôt d'une situation *au bord de l'instabilité*, mais que la rapidité des rétroactions parvient à maintenir. CP utilise l'image très parlante d'une bicyclette descendant une pente et qui reste "sur pied", et ce d'autant plus fermement qu'elle va plus vite. Il évoque aussi la mécanique du gyroscope. Techniquement la dynamique instantanée du système est décrite par une équation de réaction-diffusion, combinant⁷ "refroidissement" (stabilisation des orbites) et chauffage (diffusion des perturbations orbitales.); mais une équation dont les coefficients - du refroidissement et du chauffage - croissent parallèlement avec la succession des boucles de rétroaction, processus renforçant la minceur du disque et assurant sa résilience de plus en plus prononcée aux perturbations.

Pour parler de ces processus et de leurs résultats, CP avance des termes comme temps dynamique, auto-régulation, auto-catalyse (de la part "froide" du disque galactique), robustesse (insensibilité relative à certaines variations de paramètres ou d'environnement), système ouvert et dissipatif (un ordre de plus en plus marqué, et l'entropie s'évacuant par rayonnement), de criticalité auto-organisée, d'homéostasie, d'émergence. Tous termes utilisés dans d'autres domaines scientifiques, et notamment en biologie. Ce qui conduit CP, dans une de ses diapo-

5. peut être compris intuitivement comme le temps nécessaire pour une transformation significative d'un système. Ainsi dira-t-on que la toile cosmique est "jeune" dynamiquement, car elle ne s'est que peu transformée, à une certaine échelle, au cours de l'histoire de l'univers.

6. Alar Toomre, 1981, cité par CP.

7. sous forme d'un terme logistique, quand tout est "froid", i.e. que toutes les orbites stellaires sont circulaires, il est clair que aucun refroidissement (diminution de l'excentricité) ne peut plus s'opérer.

sitives complémentaires, de poser la question : "Is a disk alive?" ou plus plus précisément, Un disque galactique est-il un système "pré-biotique"?

4 Discussions

Des questions ont été posées pendant l'exposé lui même et à son issue.

Pendant l'exposé. Une première question a été sur l'interprétation de la séquence de Hubble, avec comme réponse l'obsolescence de son statut chronologique. Une seconde question rappelle l'omniprésence des disques planétaires, tels que celui hébergeant notre terre : implicitement, la forme de disque n'est elle pas la forme "normale" des objets auto-gravitants, dès lors qu'un moment angulaire leur est donné au départ? CP développera sa réponse en fin d'exposé. Une autre question a concerné l'hypothèse de la matière noire et son caractère "ad-hoc", alors que sa structuration dans la toile cosmique joue un rôle majeure. Il existe des hypothèses alternatives, CP rappelle à cette occasion qu'il s'agit d'un thème de recherche actif.

A l'issue de l'exposé. L'une des remarques de CP, reliant pour résumer l'émergence des disques galactiques à l'action de la gravité à toutes les échelles, amène la question de la difficulté de construire une théorie du "Grand Tout", de la grande unification. CP répond que la gravité n'est pas tout à fait le seul acteur, il a besoin de la dissipation. Si l'on arrête l'arrivée des gaz, le désordre va s'installer. Il mentionne cependant une exception apparente à cette croissance de l'entropie, dans la formation spontanée de barres centrales (un ordre local) dans des galaxies produisant peu d'étoiles conjointe à une redistribution des étoiles à la périphérie. A une question sur la stabilité de la toile cosmique au cours du temps, CP rappelle sa dépendance par rapport à l'échelle du regard. La structure filamentaire existe à toutes les échelles, mais "les horloges ne sont pas les mêmes" et à petites échelles, par exemple dans l'environnement d'une galaxie, les choses changent plus vite. CP évoque à ce propos un point d'histoire récente de sa discipline : dans les années 1980, les travaux sur les modèles d'effondrement se focalisaient sur des objets isolés et/ou dans un environnement isotrope et stable. Or c'est une situation qui n'existe pas dans la nature : l'objet *et* son environnement *co-évoluent*, les couplages d'échelle sont omniprésents. Les ordinateurs ont permis de les simuler efficacement.

Mais pourquoi les étoiles ne sont pas des disques, et pourquoi les galaxies ne sont pas t-elles des sphères. CP invoque à nouveau les différences de temps dynamique : les étoiles sont de vieux objets, les nuages de gaz qui en sont l'origine sont des milieux collisionnels, source de viscosité, ces objets de longue vie ont eu le temps de redistribuer leur moment angulaire. Les galaxies, des "gaz d'étoiles" mais sans collision, des objets "jeunes", n'ayant effectuée qu'un petit nombre de rotations depuis leur naissance, ne sont pas dans une situation comparable. Une question concerne la manière dont est compensé l'ordre local s'établissant dans la galaxie : par exemple un désordre accru dans la structure filamentaire proche. CP rappelle : c'est le rayonnement isotrope dont l'énergie est issue des chocs dans les gaz qui disperse l'entropie. Une remarque concerne la similitude frappante des images de notre galaxie en infra-rouge et en ondes gamma. CP rappelle que les mêmes processus physiques peuvent émettre sur plusieurs longueurs d'ondes. Il souligne à cette occasion l'élargissement considérable de notre perception de l'univers, en comparaison de ce qu'elle était il y a un siècle : sur les fréquences (des ondes radio aux rayons gamma), sur l'étendue accessible simultanément (Euclid), sur la profondeur (James Webb). Une dernière intervention revient sur certaines invariances d'échelle et le fait que s'établissent dans les galaxies des corrélations à longue portée. Cela évoque le groupe de renormalisation, les points critiques de transitions de phase, des fluctuations en lois de puissances, des corrélations infinies et des structures fractales : de telles structures apparaissent elles dans les observations ou les simulations? CP répond que, sur la distribution des galaxies, on pensait dans les années 1990 qu'il pouvait en être ainsi. Cette hypothèse (d'invariance d'échelle liée à une transition de phase) a été abandonnée suite aux analyses des spectres de puissance. De même pour les disques, bien que ce ne soit pas encore une question bien explorée.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement Mr Yann TRAN et Mme Annabelle POIRIER de l'Institut Curie pour la qualité de leur accueil.

Documents

p.11 : Résumés en français et en anglais de la conférence de Vincent BONTEMS

p.12 : Quatre articles proposés pour vous familiariser avec le thème de la conférence :

1. « *Du mode d'inexistence des mathématiques* », Vincent Bontems, *Collection Appareil*, **16 / 2015**, Individuer Simondon. De la redécouverte aux prolongements. *Du mode d'inexistence des mathématiques : l'ontologie du virtuel chez Simondon*.
2. « *Actualité d'une philosophie des machines* », Vincent Bontems, *Revue de Synthèse*, Springer Verlag, 2009, 130 (1), pp.37-66
3. « *La mécanologie : une lignée technologique francophone ?* », Yohann Guffroy, Vincent Bontems, *Artefact : techniques, histoire et sciences humaines*, 2018, 8, pp.255-280
4. « *Dialogue pour une épistémologie de la raison créative* », Armand Hatchuel (interrogé par Vincent Bontems), *Collection Science de la conception*, Presses des Mines, *Bachelard et l'avenir de la culture : du surrationalisme à la raison créative*, pp.122-131

Sur les frontières de la science

Vincent Bontems

Philosophe des sciences et des techniques

Directeur de recherche au CEA

Co-directeur du master Management de la Technologie et de l'Innovation de PSL

Directeur de la collection "L'Âne d'or" aux Belles Lettres.

Résumé

Dans les années 2000, l'émergence du terme « nano » a catalysé une promotion significative de l'interdisciplinarité. En 2011, le sociologue Terry Shinn a proposé une analyse de la « nouvelle disciplinarité » : les chercheurs occupant des positions centrales dans leur domaine adoptaient une stratégie consistant à explorer les frontières disciplinaires pour établir des alliances, puis revenaient au centre pour capitaliser sur ces collaborations.

Des études bibliométriques (Gingras & Larivière 2014) ont mis en lumière une tendance marquée à la baisse des citations intra-disciplinaires. Que demeure alors le rôle de la discipline dans la formation des chercheurs ? La métaphore spatiale du centre et de la périphérie reste-t-elle pertinente ? Comment les dispositifs de contrôle peuvent-ils s'exercer sur ces travaux ?

Pour éclairer ces questions, nous nous appuyons sur les concepts de « diversité » (Bontems, "Au nom de l'innovation : finalités et modalités de la recherche au XXI^e siècle", 2023) et de « frontières fractales » (Hatchuel & Bontems, « Sur le régime de création surcontemporain », 2020) en soulignant la vulnérabilité actuelle de la science face à la prolifération de la « fake science » à l'ère de l'Intelligence Artificielle.

About the boundaries of science

Vincent Bontems

Sciences and Techniques philosopher

Research Director at CEA

Codirector of the Master " Technology and Innovation Management " of Paris Sciences Lettres

Director of the collection "L'Âne d'or" at "Belles Lettres".

Summary

In the years 2000, the emergence of the term « nano » catalyzed a considerable promotion of interdisciplinarity. In 2011, sociologist Terry Shinn proposed an analysis of the « new disciplinarity »: researchers in central positions within their domain were adopting a strategy consisting in exploring the disciplinary boundaries to establish alliances, then coming back to their central position in order to capitalize on these collaborations.

Bibliometric studies (Gingras & Larivière 2014) shed light on a marked tendency to the decrease of intra-disciplinary citations. What is then left of the role played by disciplines in the training of researchers? Is the spatial center-periphery metaphor still relevant? How can control measures be applied on research?

In view of shedding some light on these questions, we will use the concepts of "diversality" (Bontems, « Au nom de l'innovation : finalités et modalités de la recherche au XXI^e siècle », 2023) and of "fractal boundaries" (Hatchuel & Bontems, « Sur le régime de création surcontemporain », 2020) and underline the current vulnerability of science facing the proliferation of "fake science" in the era of Artificial Intelligence.

Du mode d'inexistence des mathématiques

L'ontologie du virtuel chez Simondon

Vincent Bontems

**Édition électronique**

URL : <http://journals.openedition.org/appareil/2235>

DOI : 10.4000/appareil.2235

ISSN : 2101-0714

Éditeur

MSH Paris Nord

Référence électronique

Vincent Bontems, « Du mode d'inexistence des mathématiques », *Appareil* [En ligne], 16 | 2015, mis en ligne le 09 février 2016, consulté le 30 juillet 2020. URL : <http://journals.openedition.org/appareil/2235> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/appareil.2235>

Ce document a été généré automatiquement le 30 juillet 2020.



Appareil est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Du mode d'inexistence des mathématiques

L'ontologie du virtuel chez Simondon

Vincent Bontems

À Bernard Besnier

La philosophie manifeste la sursaturation d'un système ; c'est pourquoi elle n'existe pas toujours. C'est pourquoi, de plus, elle [...] vit dans un monde partiellement réel et partiellement virtuel.

Gilbert Simondon, *Quelques éléments d'histoire de la pensée philosophique dans le monde occidental*

Introduction

- 1 L'ampleur de l'information scientifique et la portée encyclopédique de la philosophie de Gilbert Simondon — qui couvre les régimes physique, biologique et psychosocial d'individuation ainsi que les processus de concrétisation technique — ne peuvent qu'impressionner son lecteur. Toutefois, ce dernier peut légitimement s'interroger sur l'absence de théorisation des mathématiques dans son œuvre. À aucun moment Simondon, qui ne rechigne pourtant pas à citer certaines formules algébriques, en particulier dans la première partie de sa thèse principale, *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*¹, ne se préoccupe de préciser le statut ontologique des référents du formalisme. Pour autant, il ne considère pas la mathématisation comme un aspect contingent des sciences de la nature lorsqu'il s'agit d'élaborer sa réflexion philosophique, comme le prouve la remarque suivante :

[...] ce n'est pas *cette* physique [celle d'Aristote], dépourvue de formulation mathématique après la répudiation des structures-archétypes, et préoccupée de

classification plus que de mesures, qui pouvait fournir des paradigmes à une réflexion².

- 2 L'absence de théorisation des mathématiques ne s'explique donc ni par l'ignorance ni par l'indifférence. Et, puisqu'il n'y a pas d'obstacle épistémologique à sa formulation — le réalisme de la relation est adapté à la conceptualisation d'objets mathématiques en tant que systèmes de relations —, cette absence demande à être justifiée dans la problématique qui est la sienne.
 - 3 Notre hypothèse est que Simondon ne traite pas de l'ontologie des mathématiques en tant que telles parce qu'il ne les situe pas dans l'horizon de sa philosophie de la nature : il est impossible de leur assigner un mode d'existence comparable à celui des réalités naturelles et artificielles. En effet, si « exister » signifie « devenir dans le temps et l'espace », alors les mathématiques *n'existent pas* et n'ont pas leur place au sein de l'encyclopédisme *génétique*³. D'autres philosophies, confrontées à une difficulté analogue, ont proposé des références ontologiques distinctes de l'existence (les notions de « subsistance » et de « consistance », par exemple), mais il est probable que la méthodologie en un sens « naturaliste⁴ » de Simondon n'incitait pas ce dernier à faire appel à un tel expédient métaphysique. Cela ne signifie pas pour autant que l'ontologie des mathématiques soit impensable dans son système.
 - 4 La théorie de l'individuation pose l'antériorité d'un état de l'être dit « préindividuel » et pense le devenir des individus en fonction de leur métastabilité, qui en est la trace résiduelle sous la forme des potentiels du système formé par l'individu et son milieu associé. Une condition primordiale de cette théorie est donc la reconnaissance de deux domaines réels distincts, l'actualité et la potentialité :

[...] le potentiel est l'une des formes du réel, aussi complètement que l'actuel. Les potentiels d'un système constituent son pouvoir de devenir sans se dégrader ; ils ne sont pas la simple virtualité des états futurs, mais une réalité qui les pousse à être⁵.
 - 5 On remarque alors qu'intervient un troisième terme, le virtuel qui lui, en revanche, est repoussé hors de l'horizon de la réalité. Du virtuel n'est donnée aucune dérivation ontogénétique : il intervient en tant qu'il ne fait pas partie du processus réel. Il sert de faire-valoir au potentiel parce qu'il n'explique pas le devenir :

Le devenir n'est pas l'actualisation d'une virtualité ni le résultat d'un conflit entre des réalités actuelles, mais l'opération d'un système possédant des potentiels en sa réalité : le devenir est la série d'accès de structurations d'un système, ou individuations successives d'un système⁶.

Mais si le virtuel désigne une abstraction sans corrélat réel, pourquoi intervient-il de manière récurrente dans *Du Mode d'existence des objets techniques*⁷ ?
 - 6 Comparé au potentiel, qui est inactuel mais présent, le virtuel est comme absent et paraît presque irréel. Sa figure principale est, chez Simondon, la visée de l'avenir, ou plutôt des futurs possibles dans la mesure où ceux-ci peuvent diverger, advenir ou non : « l'avenir est comme un immense champ possible, un milieu de virtualités associées au présent par une relation symbolique⁸ ». Mais Simondon qualifie aussi de virtuel tout ce qui n'est pas présent et qui est pourtant réel au sens où il conditionne les potentiels qui s'actualisent⁹. Or, les mathématiques sont justement des structures réelles inactuelles qui conditionnent le physiquement possible. Notre hypothèse est donc que le mode d'existence du virtuel compense l'absence des mathématiques — qui ne sauraient être pensées en tant que réalités existantes mais qui n'en exercent pas moins un effet structurant sur le déploiement du réel.
- Le virtuel est *le mode d'inexistence des mathématiques*. Car l'inexistant n'est pas irréel : le

virtuel est la réalité de ce qui ne devient pas dans le temps et l'espace. Comme Jean-Hugues Barthélémy, nous pensons que la connaissance suppose un « double décentrement mathématico-instrumental du sujet¹⁰ » opéré par la phénoménotechique et par les mathématiques, qui sont la « technique virtuelle ». Nous pensons être en mesure de généraliser ce jugement : le virtuel est la modalité du réel pris dans toute son extension ; il caractérise la structuration de l'inactuel par les mathématiques, que cet inactuel soit potentiel ou non, en même temps que le mode d'inexistence des mathématiques en tant que telles.

- 7 Pour le démontrer, nous nous sommes inspirés d'une procédure en usage chez les mathématiciens telle qu'elle est analysée par le phénoménologue Jean-Toussaint Desanti dans *Les Idéalités mathématiques*¹¹. Elle consiste à partir d'un « objet » (un système de relations) explicite, à savoir le « virtuel », et à démontrer que sa structure relève d'un objet implicite, les mathématiques en tant que leur inexistence structure en creux l'ontogenèse. L'objet implicite (les mathématiques) n'est pas une conséquence de l'objet explicite (le virtuel) : il n'est pas déduit, mais plutôt « abduit¹² ». Cette abduction résulte de trois opérations : d'abord, l'intégration de l'objet implicite dans le champ des opérations permises par l'objet explicite ; puis, son positionnement comme pôle d'unité d'un champ des propriétés de l'objet explicite ; enfin, la redéfinition de l'objet explicite comme objet enveloppé et délimité du champ des propriétés démontrées de l'objet implicite. Autrement dit, nous allons relever les occurrences du virtuel chez Simondon en tant que manifestations de propriétés attribuables aux mathématiques ; puis, nous allons poser l'inexistence des mathématiques comme constituant l'unité (et l'universalité) du champ d'application du virtuel ; pour, enfin, redéfinir le virtuel comme mode d'inexistence des mathématiques.

Intégration des mathématiques dans l'horizon du virtuel

- 8 Dans *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Simondon définit le « virtuel réel » comme « source de réalité pouvant devenir symbolique par rapport au présent¹³ ». La raison pour laquelle c'est le corps qui est alors qualifié de virtuel ne nous intéresse pas ici. En revanche, on notera que les mathématiques s'intègrent facilement à cette définition du virtuel comme source d'un symbolisme, c'est-à-dire formalisation de la physique. Il s'agit de reproduire cette opération avec d'autres occurrences du virtuel. Nous limiterons ici notre analyse au texte où intervient le plus souvent le concept de virtuel : *Du Mode d'existence des objets techniques*.

L'omni-spatio-temporalité du virtuel comme condition objective de l'invention

- 9 Le virtuel joue un rôle décisif dans *Du Mode d'existence des objets techniques*, puisqu'il constitue une condition de possibilité de l'acte d'invention en tant qu'information inédite de la matière et création d'une nouvelle compatibilité des formes et du « fond » qui les accueille et en explique l'efficacité opératoire :

La relation de participation qui relie les formes au fond est une relation qui enjambe le présent et diffuse une influence de l'avenir sur le présent, du virtuel sur l'actuel. Car le fond est le système des virtualités, des potentiels, des forces qui

cheminent, tandis que les formes sont le système de l'actualité. L'invention est une prise en charge du système de l'actualité par le système des virtualités, la création d'un système unique à partir de ces deux systèmes. Les formes sont passives dans la mesure où elles représentent l'actualité ; elles deviennent actives quand elles s'organisent par rapport au fond, amenant ainsi à l'actualité des virtualités antérieures¹⁴.

- 10 La première phrase décrit la capacité d'anticipation du sujet inventif qui trouve la solution au problème présent en imaginant les effets d'une réalité qui n'a encore jamais été. Que l'avenir soit du « réel inexistant » n'a alors rien pour nous surprendre. La seconde phrase complète la première en reconnaissant l'objectivité des virtualités qui résident dans le fond du réel comme des lignes de force en pointillé qui précèdent la reconfiguration du système des potentialités et de l'actualité. La troisième précise que l'invention est rendue possible par une simulation de ces reconfigurations au sein d'un « système des virtualités ». La quatrième affirme que l'invention consiste en l'actualisation d'une de ces structures inexistantes qui paraissent désormais « antérieures ». On observe donc un spectaculaire basculement de la temporalité du virtuel entre la visée de « ce qui n'est pas encore là » et une reconnaissance de « ce qui a toujours déjà été là ». Or, la manipulation des idéalités¹⁵ mathématiques confronte le sujet à la même dialectique : des opérations triviales aux plus poussées, la recherche mathématique consiste toujours à se projeter dans une problématique dont on conjecture la résolution, avant de découvrir, quand cette recherche aboutit, la structure objective qui explique la solution. L'omni-temporalité est une propriété des mathématiques et l'invention technique constitue une opération analogue et symétrique dont seule la structuration virtuelle peut aussi rendre raison.
- 11 Deux autres passages confirment que l'omni-temporalité du virtuel est une condition de l'invention : celui où Simondon signale qu'une synthèse encyclopédique qui occulte l'historicité des connaissances produit une complétude illusoire dans la mesure où « cette étape est encore riche de virtualités¹⁶ » et que sa stabilité « masque la réalité même de l'invention¹⁷ » ; et celui qui caractérise l'enfance comme l'état d'un sujet qui se réinvente sans cesse : « l'enfant est l'être du successif, fait de virtualités, se modifiant dans le temps et ayant conscience de cette modification¹⁸ ».

En quoi les propriétés évoquées seraient-elles identiques à celle du virtuel mathématique ?

- 12 En soulignant la générativité des schèmes et l'état inchoatif de l'enfant, Simondon pointe des caractéristiques qu'il aurait pu, à première vue, référer à des potentiels plutôt qu'à des virtualités. Toutefois, ce n'est pas la métastabilité d'un système qui est en question, mais son historicité qui entre en tension avec la dualité temporelle du virtuel « pas-encore-là/toujours-déjà-là ». L'encyclopédisme ne rend pas compte de l'inventivité s'il se replie sur une axiomatique close et sans histoire. L'enfant, défini par sa façon de grandir et de renouveler ses structures comportementales, n'est pas un système cohérent. Le rapport à la mémoire pose, dans les deux cas, le problème d'une transmission du système des virtualités : l'identité est réduite à la synchronie ou à la diachronie. L'état stabilisé d'un système des connaissances et l'élan juvénile sont donc deux cas limites qui sacrifient une dimension du virtuel. La pratique des mathématiques, en tant qu'elle produit son schématisme et qu'elle se produit à travers lui, articule ces deux dimensions : elle vise la consistance du système synchronique en même temps qu'elle expérimente l'incomplétude de ce système qui justifie sa transformation. Aussi bizarre que cela puisse paraître, les mathématiques, souvent

considérées comme des vérités éternelles, posent de la façon la plus aiguë qui soit la question d'une pédagogie génétique et de la transmission de la mémoire savante : apprend-on une formule comme une recette, ou apprend-on la démonstration qui la justifie dans une axiomatique, ou apprend-on son histoire et les motivations de sa (re)formulation ?

- 13 Enfin, Simondon réserve la perception du virtuel (et donc la capacité à inventer) à l'individu vivant par contraste d'avec la machine :

En effet, le vivant n'est pas exactement un transducteur comme ceux que les machines peuvent comporter ; il est cela et quelque chose de plus ; les transducteurs mécaniques sont des systèmes qui comportent une marge d'indétermination ; l'information est ce qui apporte la détermination. Mais il faut que cette information soit donnée au transducteur ; il ne l'invente pas ; elle lui est donnée par un mécanisme analogue à celui de la perception chez le vivant, par exemple par un signal provenant de la manière dont l'effecteur fonctionne (la jauge sur l'arbre de sortie d'une machine thermique). Au contraire, le vivant a la capacité de se donner à lui-même une information, même en l'absence de toute perception, parce qu'il possède la capacité de modifier la forme des problèmes à résoudre [...] Résoudre un problème, c'est pouvoir l'enjamber, c'est pouvoir opérer une refonte des formes qui sont les données mêmes du problème. La résolution des véritables problèmes est une fonction vitale supposant un mode d'action récurrente qui ne peut exister dans une machine : la récurrence de l'avenir sur le présent, du virtuel sur l'actuel. Il n'y a pas de véritable virtuel pour une machine ; la machine ne peut réformer ses formes pour résoudre un problème¹⁹.

- 14 Cette détermination du virtuel mathématique peut paraître contre-intuitive dans la mesure où l'on assimile en général les mathématiques à l'informatique : les ordinateurs fonctionnent à partir de données numériques, ou plutôt de l'information réductible à un code binaire sous la forme du langage-machine. Or, Simondon pointe ici les limites du système calculatoire d'une machine de Turing pour dégager la spécificité du vivant en tant qu'il a accès au virtuel. Il faut alors rappeler l'incapacité des ordinateurs à manipuler le continu réel : un algorithme informatique ne reproduit pas les opérations mathématiques du cerveau, il les simule. Toutefois, Simondon insiste quant à lui, sur l'incapacité supposée des machines à inventer, autrement dit à reconfigurer le système des potentiels et des actualités en fonction d'une information virtuelle, c'est-à-dire d'une information absente. Les ordinateurs ne peuvent pas procéder à des abductions, surtout si elles sont « sous-codées²⁰ » (quand une partie de l'information manque), comme le font les êtres humains ; ils ne peuvent que simuler ce raisonnement en élargissant la base des inférences dont ils disposent déjà ou réagir à une information incidente qui modifie la structure du problème²¹. Or, de nombreux gestes des mathématiciens correspondent au dépassement du fonctionnement strictement calculatoire : le passage à la limite, la manipulation de l'infini ou la postulation de propositions indécidables sont autant d'opérations qu'un ordinateur ne peut exécuter car elles ne sont pas réductibles à un codage discret et binaire (mais il peut en manipuler des approximations). Ce qui est en jeu est donc la capacité d'auto-détermination virtuelle du sujet, c'est-à-dire sa capacité à agir en fonction d'une information absente, « inventée », et c'est le lien de cette auto-détermination avec l'inexistence des mathématiques qu'il convient maintenant d'éclairer.

L'optatif comme condition subjective de l'auto-détermination

- 15 Simondon consacre un long développement au corrélat subjectif du virtuel. Il commence par distinguer entre le virtuel en général et le virtuel en tant qu'il conditionne le physiquement possible (« la véritable virtualité de la *physis*²² »). Puis, il expose la modalité selon laquelle le sujet opère un choix au sein de l'éventail des possibilités que lui procure le virtuel, à savoir l'*optatif* :

En même temps que la virtualité, l'échec de l'action technique fait découvrir le correspondant subjectif de cette virtualité, à savoir le possible comme optatif ; l'ensemble de schèmes est une réalité incomplète ; les schèmes d'action sont des débuts d'action, des incitations appliquées au monde pour qu'une opération se réalise ; cette action est voulue, posée comme souhaitable et déjà effectivement souhaitée dans la mesure où l'homme tend à la réaliser ; mais elle ne possède pas en elle-même toute son autonomie puisque le souhait humain n'a que la valeur d'un germe d'action, et doit rencontrer pour qu'il y ait accomplissement de la virtualité du monde : l'optatif pratique correspond au virtuel théorique comme une réalité figurale correspond à une réalité de fond ; l'optatif est la figure du virtuel. [...]

Il importe essentiellement de remarquer que la notion de virtualité potentielle est toujours particulière : elle vise une réalité parcellaire élémentaire, prise partie par partie ; elle n'est pas relative à l'ensemble du monde ; le potentiel est potentiel d'un certain domaine du réel, non de tout le réel dans le système stable qu'il forme : ce caractère de la virtualité, qui a été peu noté, provient de la technicité ; l'action technique est en effet efficace ou inefficace selon les pouvoirs locaux ; il faut qu'elle rencontre *hic et nunc* une virtualité prête à s'actualiser sous le geste technique ; la virtualité est insérée, localisée, particulière. Elle est le possible objectif, comme l'optatif est le possible subjectif.²³

- 16 L'optatif est, en son sens premier, un mode de conjugaison fort répandu au sein des langues indo-européennes, que Simondon connaît probablement à travers le grec ancien. Il s'agit d'une forme linguistique exprimant le souhait d'une façon qui tient le milieu entre le conditionnel et l'impératif. On peut la rendre en français par un usage vieilli du subjonctif : entre la forme conditionnelle « il se pourrait que tu fasses bon voyage », qui exprime la possibilité de manière neutre, et l'injonction de l'impératif « fais bon voyage », qui exprime le vœu sans évoquer la possibilité, on peut formuler un souhait optatif en disant « puisses-tu faire bon voyage » qui en appelle à la réalisation d'une possibilité. C'est précisément cette sollicitation du réel que Gilles Châtelet attribuait au virtuel mathématique :

Par quel « miracle » les êtres mathématiques, « abstraits » et immuables, s'associent-ils à la détermination des êtres physiques par la « nature » [étant] soumis à la contingence et la mobilité ? [...] La virtualité invente et décide d'un mode d'élasticité ; elle prépare, découpe et propulse de nouvelles unités plastiques. La virtualité réveille des gestes ; elle *sollicite* la détermination, elle ne l'arrache pas. Elle ne se confond nullement avec l'éventail des possibles, mais en permet la décision et le déploiement²⁴.

- 17 Or, il faut noter que cette modalité subjective, par laquelle le sujet sollicite la réalisation de ses désirs indépendamment de la considération préalable du champ des potentialités qui s'offre à lui, ne peut rencontrer la satisfaction qu'en raison de la détermination sous-jacente de ces potentialités par le système objectif des virtualités de la nature, autrement dit en raison de l'existence de « lois de la nature » visées à travers l'inexistence des mathématiques qui en permettent la formulation :

Il est donc naturel que cette modalité de virtualité soit celle qui gouverne la démarche inductive, visant à découvrir une vérité par accumulation de termes

éprouvés l'un après l'autre. L'induction se fonde, dans ses formes primitives, sur la virtualité et non sur la nécessité ; la vérité obtenue par induction aurait pu être autre qu'elle n'est ; c'est l'adjonction de tous ces termes de virtualités qui tend vers le réel ; un par un, ils sont virtuels ; mais le système de toutes les virtualités accumulées et liées les unes aux autres tend vers un équivalent d'une stabilité de base, celle d'un virtuel toujours disponible et présent partout, correspondant aux « lois de la nature »²⁵.

- 18 Que la sollicitation optative des virtualités soit identifiée au raisonnement inductif plutôt qu'à l'abduction, qui lui correspond beaucoup mieux, ne doit pas nous arrêter, car Simondon ne connaissait pas la distinction peircéenne entre ces deux formes de raisonnement. Ce qui importe ici, c'est qu'il mette directement en relation la capacité du sujet à s'autodéterminer par la modalité optative, qui est à la fois « décision et déploiement » des possibles comme l'écrit justement Châtelet, et l'existence des « lois de la nature », dont la mise entre guillemet nous prévient qu'il importe de ne pas confondre leur formulation virtuelle, fondée sur l'inexistence des mathématiques, avec le fond dynamique de la nature, qui est l'ensemble de ses potentialités. Le fond des potentiels se conforme à des lois virtuelles, qui en toute rigueur « n'existent pas », mais sans lesquelles, il serait impossible d'inventer, d'anticiper, de simuler, voire de souhaiter et de s'autodéterminer. Ces caractéristiques du virtuel correspondent alors bien à des propriétés avérées du mode d'inexistence des mathématiques : l'omni-spatio-temporalité (« toujours disponible et présent partout ») et le caractère optatif (en particulier lors de la découverte des structures de la physique mathématique : « puisse $E = mc^2$ »).

Positionnement : les mathématiques comme unité des manifestations du virtuel

- 19 Jusqu'à présent, nous n'avons fait que montrer le recouvrement des propriétés du virtuel par celles des mathématiques conçues comme structure de la réalité inexistante. Nous allons maintenant voir que ce positionnement est indispensable à la compréhension de l'unité des manifestations possibles du virtuel dans le réel en tant que fondement de leur universalité. Simondon distingue trois sens de la possibilité. La forme logique est la plus pauvre : « La possibilité logique n'est que le reflet affaibli de la véritable virtualité de la *physis*²⁶ ». La forme potentielle est la virtualité de la *physis* (les lois de la nature). La forme virtuelle, elle, « correspond à ce qui n'est pas un pouvoir de l'homme, et est pourtant un pouvoir ; c'est le pouvoir pur, le pouvoir absolu²⁷ ». Cette résurgence de la toute-puissance n'est pas une référence théologique (maintes fois évacuée par Simondon). La seule transcendance plausible consiste en la nécessité mathématique que l'on pourrait caractériser à la manière de Husserl comme une « impossibilité de l'impossibilité ». La position du virtuel mathématique comprend et explique le déploiement de toutes les autres formes de possibilité. Elle est la forme universelle de la possibilité.

L'unité de la virtualisation économique

- 20 Dans un passage de « Psychosociologie de la technicité », Simondon analyse comment les objets techniques d'usage mis sur le marché ne sont plus évalués techniquement et ne peuvent plus prétendre à l'existence qu'en tant que marchandise :

La réalité de l'objet produit est ramenée à une virtualité de destinée technique ; il ne possède pas en lui-même l'autojustification de son existence et de sa finalité ; on pourrait dire qu'il est « virtualisé » par la condition de vénalité. À travers lui, le travail du producteur lui-même est virtualisé ; il perd un degré de réalité. Comme la condition de l'objet produit retentit sur le travail de production (sur tout travail de production, enveloppant aussi bien capital que travail proprement dit), ce travail devient un pari, est mis en situation d'insécurité : il y a ici amorçage d'un processus de causalité circulaire ; la production industrielle est une production virtualisée, et cette condition de virtualité recouvre producteurs et produits. En ce sens, l'objet technique est comme un esclave, car la condition de l'esclave comporte cette virtualisation : l'esclave ne continue à exister qu'autant que son maître l'autorise à exister²⁸.

- 21 Sans entrer dans la problématique de l'aliénation²⁹, il est évident que ce passage opère une démarcation par rapport à la dialectique de la valeur d'usage et de la valeur marchande — exposée par Marx au début du *Capital* — en ce qu'il n'attribue précisément pas la virtualisation de la valeur technique au capitalisme comme mode de production historiquement déterminé. Il faut alors se demander ce qui constitue l'unité conceptuelle des diverses propriétés de la virtualisation marchande, à savoir la déréalisation relative de la valeur technique par la « condition de vénalité », la rétroaction de la virtualisation du produit vers la production, capital y compris, et la disparition du droit à l'existence.
- 22 Cette unité réside dans une certaine utilisation des mathématiques comme support de la valeur symbolique marchande : l'identification de la valeur de l'objet à sa seule valeur marchande tient à l'imposition d'un prix ; la répercussion sur la gestion de la production s'opère par des procédures calculatoires ; la soumission de l'existence à l'arbitrage du marché est illustrée par l'analogie avec le sanglant épisode des esclaves sardes recyclés sous forme de nourriture pour les lamproies, c'est-à-dire à une forme précapitaliste de rationalisation économique. Sans qu'il faille réduire la valeur symbolique, qui remplace et occulte la valeur technique de l'objet, à la valeur économique, il s'agit d'observer que cette valeur symbolique ne prend sens que par les effets de ce mode d'inexistence qu'est celui des mathématiques. Simondon ne naturalise pas la valeur économique. Au contraire, il pointe les effets d'une abstraction, d'une mathématisation qui ne respecte pas la valeur technique de l'objet, et cette virtualisation n'est pas propre au capitalisme. Elle tire son unité transhistorique de l'inexistence des mathématiques ; son universalité est incommensurablement plus profonde que le capitalisme.

L'universalité de l'intuition politique

- 23 L'universalité du virtuel se trouve aussi engagée dans la problématique politique. Simondon ne définit pas la « pensée politico-sociale » comme une phase de la Culture. Elle intervient au sein d'une tension irrésolue entre la connaissance théorique, la science, et la dimension pratique de la religion, les normes éthiques. Elle ne peut donc prendre une forme stabilisée : elle ne correspond pas à une idéologie prescrivant un ordre établi mais, au contraire, à une aspiration à la transformation³⁰. La pensée politico-sociale s'appuie ainsi sur la « sous-jacente d'ensembles plus vastes sous les structures actuelles³¹ ». On s'attendrait de nouveau à une analyse de la métastabilité de la société et de ses potentiels, mais c'est bien la virtualité qui est invoquée : « c'est la relation de la totalité par rapport à la partie, de la totalité virtuelle par rapport à la

partie actuelle qu'exprime la pensée politico-sociale³² ». Car, comme avec l'invention technique, il ne s'agit pas en politique de penser l'avenir prévisible des sociétés³³, mais de rendre compte de la capacité de faire advenir des futurs possibles. La politique est affaire d'orientation. Simondon ne convoque pas alors l'utopie, l'eschatologie ou toute autre forme de téléologie. Il distingue même expressément l'intuition politique de la providence religieuse, car la pensée politico-sociale n'est pas fondée sur l'intuition d'une totalité absolue à laquelle devrait aboutir l'histoire, elle est plus modestement et plus concrètement la visée d'une totalité relative, c'est-à-dire d'une évolution désirable pour une organisation. Il caractérise ainsi l'intuition politique :

l'intuition politico-sociale est l'insertion des tendances, expression des virtualités et des forces du devenir, dans la même réalité [...] Nés l'un et l'autre du devenir, exprimant l'un le passé défini qui sert de base et l'autre l'avenir possible qui sert de but, la pensée technique des ensembles et la pensée politico-sociale sont couplées par leurs conditions d'origine et leurs points d'insertion dans le monde³⁴.

- 24 La pensée politico-sociale consiste en un désir de transformer l'état des structures actuelles, en l'aspiration à une totalité relative qui en est une reconfiguration possible, et dans le pilotage des tendances potentielles pour y parvenir. La référence religieuse écartée, l'universalité de ces opérations réside dans les manifestations du virtuel : virtualisation de l'existant, invention d'une nouvelle systématique, et sollicitation d'un devenir des potentiels. Nous savons que ces propriétés relèvent du virtuel mathématique. On peut même avancer seules les virtualités mathématiques peuvent en garantir l'universalité : l'intuition politique n'est pas qu'une caractéristique biologique de l'espèce humaine, elle est la rencontre possible, quoique non garantie, des aspirations psychosociales et du fonctionnement technique.

Redéfinition : le virtuel mathématique comme extension intégrale du réel

- 25 Le fait de trouver la virtualité des mathématiques au fondement de l'unité de la virtualisation marchande et de l'universalité de l'intuition politique est moins surprenant qu'il n'y paraît, quand on a compris que la virtualité est *l'extension maximale du réel*. Si les processus économique et politique ne sont pas fortuits, arbitraires et chaotiques, c'est que leur rationalisation peut rencontrer des structures virtuelles et mobiliser une information mathématique sur la réalité : la valeur marchande, l'expression démocratique, par exemple. La postulation du virtuel comme mode d'inexistence des mathématiques n'éclaire en rien le devenir de ces processus, elle ne fonde pas un *télos*, mais elle n'est cependant pas inutile. En particulier, parce qu'elle redéfinit notre compréhension des mathématiques elles-mêmes.

Une conception non-hylémorphique du virtuel mathématique

- 26 L'identification du virtuel au mode d'inexistence des mathématiques n'est pas propre à Simondon. On la trouve également chez Châtelet (nous y reviendrons) et, surtout, chez Gilles-Gaston Granger. Granger caractérise le virtuel, dans *Le Probable, le Possible et le Virtuel*, comme étant la structure du réel dans sa plus grande extension en tant que réalité inactuelle. Ne reconnaissant pas la réalité du potentiel, le concept qui opère la médiation entre le virtuel et l'actualisation est, dans son système, la catégorie du

« probable » (ce qui pose de nombreux problèmes car cela revient à ne pas distinguer clairement entre les potentialités naturelles et leur formalisation probabilitaire). En ce qui regarde le virtuel, Granger retient en fait la définition aristotélicienne :

Que la mathématique traite du virtuel au sens où nous l'entendons ne souffre guère d'objection. La caractérisation aristotélicienne de cette science comme théorie de l'immuable non-séparé, c'est-à-dire non-concret, conserve toute sa profondeur. Les *mathemata* sont non actuels, non point en ce sens qu'ils seraient le fruit instable de la fantaisie des hommes, mais en ceci qu'ils sont essentiellement abstraits, par exemple non réalisés comme tels dans l'expérience sensible³⁵.

- 27 Cette définition a le mérite d'insister sur l'universalité du virtuel, qui constitue le cadre naturel des processus d'individuation et d'invention, et sur sa neutralité vis-à-vis de l'actualisation (qui devient cependant sollicitation dans le cas du virtuel de la nature chez Simondon), mais elle a le défaut de s'enfermer dans l'hylémorphisme : dire des objets virtuels « qu'ils n'ont pas de "matière", si l'on entend par matière ce qui dans une réalité n'est pas complètement déterminé par sa forme, et présente par conséquent par rapport à celle-ci de la contingence³⁶ », c'est imposer une conception substantialiste des rapports du virtuel au matériel fort rétrograde et insuffisante. L'indépendance du virtuel vis-à-vis de la matérialité ne signifie pas son extériorité radicale : la matière possède une structuration virtuelle en tant que son individuation dépend du système des relations potentielles qui reposent elles-mêmes sur la structure sous-jacente de relations virtuelles. Le virtuel est l'extension maximale du réalisme des relations, qui excède le domaine des relations actuelles et potentielles, mais il est, en un sens (et nous y reviendrons), aussi « naturel » qu'eux : le problème du « miracle » de l'accord des phénomènes et des mathématiques ne se pose que parce que l'hylémorphisme oppose une matière sans structure virtuelle à un système relationnel sans naturalité. La conception simondonienne du virtuel, quand elle est appliquée aux mathématiques, évite d'avoir à adopter cette perspective hylémorphique.

Au-delà des illusions métaphysiques : la naturalité des mathématiques

- 28 Les caractéristiques du virtuel (inexistence, omni-spatio-temporalité, caractère optatif, universalité) ont, en outre, le mérite de caractériser les mathématiques autrement que par les propriétés privatives attribuées traditionnellement aux mathématiques. La philosophie ne conçoit en général les propriétés des mathématiques qu'en les opposant à celles de « choses » actuelles : immatérialité, intemporalité, inconditionnalité, impersonnalité, etc. En évitant ce type d'ontologie négative, la caractérisation simondonienne du virtuel aide à réaliser le programme formulé par Desanti, en 1972, dans ses « Réflexions sur le concept de *mathesis* » :

Renonçons à chercher l'unité de la *mathesis* : 1) du côté du sujet transcendantal ; 2) du côté d'un univers d'essences ; 3) du côté d'un sol originaire, d'un champ d'intuitions auquel devraient renvoyer en dernière analyse tous les actes de désignation d'objet, qui trouveraient en lui le lieu où naît leur évidence instauratrice³⁷.

- 29 L'obstacle du subjectivisme transcendantal est assez facile à surmonter dans la philosophie de Simondon : sa théorie de l'individuation invalide la position absolutisée du sujet transcendantal fixe, et il insiste toujours sur les deux versants (objectif et subjectif) des relations virtuelles. Même si le sujet peut appréhender réflexivement une

structure mathématique comme étant le résultat non contingent de sa propre activité et en inférer qu'il s'agit d'une structure universelle de sa subjectivité, le virtuel, tel qu'il se manifeste en tant qu'ensemble de relations objectives, ne peut être réduit au rang de simple projection des structures transcendantales dans les choses. L'extériorité de la problématique s'impose à l'esprit, en particulier lors des transformations de la physique mathématique. Certes, il est toujours possible de « rétro-projeter » les conditions virtuelles de l'objectivation physique au sein du sujet en tant que système catégoriel, mais cette assise est prise en défaut à chaque rupture épistémologique.

- 30 En outre, ce que le transcendantal ne parvient pas à expliquer, c'est la naturalité du virtuel. Pour y parvenir, il faut se situer dans la perspective d'une philosophie de la nature qui accepte la réalité des mathématiques. Les mathématiques sont à la fois subjectives et objectives parce qu'elles sont le système des relations virtuelles résultant du déphasage de la nature entre sujet et objet. Simondon n'a pas formulé cette dérivation ontogénétique du virtuel mathématique dans son propre système, mais on la trouve chez Châtelet (citant Schelling) :

Ce que nous prétendons, ce n'est pas que la nature coïncide comme par hasard avec les lois de notre esprit [...] mais qu'elle exprime *elle-même*, nécessairement et primitivement, les lois de notre esprit et que non seulement elle les exprime, mais les *réalise* et qu'elle n'est et ne peut être appelée Nature que pour autant qu'elle fait l'un et l'autre. La Nature doit être l'Esprit visible, et l'Esprit la Nature invisible. C'est ici, dans l'identité absolue de l'Esprit *en nous* et de la Nature *en dehors de nous* que doit se trouver la solution du problème de la possibilité d'une nature en dehors de nous³⁸.

- 31 L'illusion du réalisme platonicien est tout aussi surmontable : ce « platonisme » (que l'on se gardera d'identifier à la doctrine de Platon) consiste à hypostasier les structures virtuelles en tant qu'objets éternels constituant les référents des symboles que manipule le mathématicien. Ainsi est rendu compte de l'inévitable sentiment de transcendance que ce dernier éprouve en « découvrant » la structure virtuelle. La conception simondonienne, tout en faisant droit au sentiment de découverte, a le mérite de prévenir la substantialisation de l'inexistence en idéalité, de l'omni-temporalité en éternité, de l'universalité en transcendance, etc. Mais, c'est surtout la mise en évidence du caractère *optatif* de l'appréhension subjective du virtuel qui est précieuse contre le réalisme platonicien, car elle montre la pauvreté de l'identification des multiples possibilités offertes au cours de l'exploration des structures mathématiques à un enfermement dans un labyrinthe de la nécessité. L'indigence de cette image est flagrante quand on la compare à la richesse de l'expérience subjective du mathématicien qui individue la connaissance du virtuel en lui et parvient ainsi à s'individualiser lui-même :

[...] il est difficile de dénier aux objets mathématiques ce qu'il faut bien appeler, avec les précautions qui s'imposent mais en employant un mot au fond juste et suggestif, ni plus ni moins qu'une *individualité*. [...] les théories logiques elles-mêmes, ou les myriades de variantes de la théorie moderne des ensembles, loin de ressembler à d'inaccessibles et froids luminaires plantés sur la sphère des étoiles fixes, se présentent plutôt au regard aiguisé d'un logicien qui les a longtemps fréquentées, et avec quel profit, comme des êtres humains, des êtres humains qui plus est pourvus d'un passeport. Elles ne sont pas tant là pour être géographiquement découvertes, géologiquement creusées et fouillées ou astronomiquement observées et contemplées, pas davantage façonnées selon nos caprices ni même suscitées par la caresse de nos gestes et de nos regards, mais

plutôt, si l'on peut dire, fréquentées, au gré de nos besoins, de nos goûts, de nos envies³⁹.

- 32 Le troisième obstacle épistémologique, celui de l'illusion fondamentale du sol originaire, est le plus redoutable au sein d'une philosophie de la nature. Une fois admise la naturalité des mathématiques, il est tentant de faire du virtuel un double-fond rigide du potentiel, un arrière-monde qui serait la seule « vraie » réalité. Autrement dit, on risque de croire à l'existence des mathématiques et d'en faire l'origine et la fin de toute chose. Cela explique sans doute pourquoi les mathématiques n'apparaissent pas en tant que telles chez Simondon. Le danger de se référer explicitement à un domaine naturel, même s'il est inexistant comme le virtuel, est d'accréditer l'idée que les mathématiques s'enracinent dans un élément qui les fige par avance, qu'elles y subsistent comme le cristal déjà formé de toutes les actualisations possibles réunies en un tout cohérent. Alors, l'indétermination relative des processus d'individuation, la métastabilité de l'être et la réalité des potentiels ne seraient plus que des illusions relevant de la finitude de notre entendement.
- 33 Mais le virtuel n'est pas ce fondement stable et solide, et il n'y a pas de saturation possible de la mathématique sur un seul plan consistant. Les travaux de Kurt Gödel ont démontré la possibilité de la formulation de propositions indécidables dans tous les langages formels ayant au moins la puissance de l'arithmétique, c'est-à-dire le caractère lacunaire de tout système de virtualités. L'hypothèse du continu, qui affirme l'inexistence d'un infini dont le cardinal soit strictement compris entre le cardinal des entiers et celui des nombres réels, est, par exemple, une proposition indécidable dans la théorie des ensembles. Or, Paul Cohen a mis au point la méthode dite du « *forcing* » qui permet de construire une extension particulière de la théorie des ensembles (ZFC mais sans l'axiome du choix) compatible avec sa négation. Autrement dit, il est possible de construire une théorie des ensembles où certaines structures sont impossibles et une autre où elles sont possibles. Voilà qui devrait suffire à décourager les tentations d'imaginer le virtuel comme un cristal figé ; le virtuel mathématique consiste plutôt en une affolante profusion de cristallisations divergentes et toujours lacunaires plus riche que le potentiel. Surtout, le virtuel n'offre aucun point de vue infini et quasi-divin, aucun plan absolu où l'ensemble des possibilités serait saturé en une unique systématique consistante.
- 34 Cette sursaturation du virtuel mathématique libère la philosophie de la nature du risque d'un effondrement métaphysique dans l'Un et préserve les bénéfices de l'hypothèse du préindividuel : les incompatibilités du potentiel ne sont qu'une infime partie des devenirs divergents que recèlent les méandres du virtuel. Ainsi, le préindividuel n'est pas identique à sa formalisation mathématique, mais, malgré cette différence ontologique entre le potentiel pur et le formalisme de la mécanique quantique (qui en saisit le processus d'individuation), il n'est pas non plus une indétermination absolue, *apeiron* ou matière prime informe ; il est bien formalisable par des lois en tant qu'il recèle des virtualités, qui précèdent et conditionnent les individuations possibles. Comme le précise un passage de *Du Mode d'existence des objets techniques* sur la rémanence du préindividuel jusqu'au sein de la transindividualité : la charge de réalité préindividuelle, en tant que charge de nature qui est conservée avec l'être individuel, « contient potentiels et virtualités⁴⁰ ».
- 35 Les modalités de l'actuel, du potentiel et du virtuel sont donc bien trois modalités du réel. Le virtuel en est l'extension la plus grande, qui déborde donc largement le

potentiel et l'actuel. S'il n'est pas irréel, il est néanmoins *inexistant*, c'est-à-dire qu'il ne devient pas dans l'espace et le temps ; mais il serait tout à fait erroné de l'imaginer comme une substance immuable, comme une sur-actualité. Le virtuel définit au contraire le mode d'inexistence des mathématiques. On peut identifier ses propriétés (omni-spatio-temporalité, caractère optatif, universalité) à travers ses manifestations possibles et par analogie avec certaines propriétés de la technique, même si les mathématiques n'apparaissent pas elles-mêmes dans la théorie de l'invention technique de Simondon. Le virtuel intervient aussi au sein de sa philosophie de la nature, car les processus d'individuation seraient inexplicables si les potentiels étaient livrés à une absence de structuration virtuelle. Nous avons montré qu'il est donc possible de formuler une ontologie du virtuel mathématique dans l'horizon de la philosophie de Simondon.

BIBLIOGRAPHIE

Bardin Andrea, *Epistemology and Political Philosophy in Gilbert Simondon. Individuation, Technics, Social Systems*, Dordrecht, Springer, 2015.

Barthélémy Jean-Hugues, *Penser la connaissance et la technique après Simondon*, Paris, L'Harmattan, 2005.

Barthélémy Jean-Hugues, *Simondon ou l'Encyclopédisme génétique*, Paris, Puf, 2008.

Bontems Vincent, « Analogies techniques et raisonnements analogiques », in Sophie de Beaune, Liliane Hilaire-Perez et Koen Vermeir (dir.), *Analogie et Technique* (à paraître).

Bontems Vincent, « Esclaves et machines, même combat ! L'aliénation selon Marx et Simondon », *Cahiers Simondon*, numéro 5, Paris, L'Harmattan, 2013, p. 9-24.

Bontems Vincent, « L'énergétique de Simondon : progrès versus puissance » in Vincent Bontems (dir.), *Gilbert Simondon et l'Invention du futur*, Paris, Klincksieck, 2016 (à paraître).

Carrozzini Giovanni, « La contribution de Gilbert Simondon au naturalisme », in *Appareil*, <https://appareil.revues.org/2206>.

Châtelet Gilles, *Les Enjeux du mobile. Mathématique, physique, philosophie*, Paris, Le Seuil, coll. « Des Travaux », 1993.

Desanti Jean-Toussaint, *La Philosophie silencieuse*, Paris, Le Seuil, 1975.

Desanti Jean-Toussaint, *Les Idéalités mathématiques*, Paris, Le Seuil, 1968.

Eco Umberto, *Les Limites de l'interprétation*, Paris, Grasset, 1994.

Granger Gilles-Gaston, *Le Probable, le Possible et le Virtuel*, Paris, Odile Jacob, 1995, p. 80.

Lochak Pierre, *Mathématiques et Finitude*, Paris, Kimé, 2015, p. 407.

Peirce Charles Sanders, *Collected Papers*, vol. v, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1935.

Schelling Friedrich, « Idées pour une philosophie de la nature (1797) » in *Essais*, traduction française et préface par S. Jankélévitch, Paris, Aubier, coll. « Bibliothèque philosophique », 1 vol.

Simondon Gilbert, « Psychosociologie de la technicité » in *Sur la Technique*, Paris, Puf, 2014.

Simondon Gilbert, *Du Mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 2012.

Simondon Gilbert, *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Grenoble, Éditions Jérôme, coll. « Krisis », Millon, 2005.

NOTES

1. Gilbert Simondon, *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Grenoble, Éditions Jérôme Millon, 2005, p. 70, 75, 115, 126, 131, 132, 133, 135, 136, 144. Désormais désigné par ILFI.

2. *Ibid.*, p. 92.

3. Jean-Hugues Barthélémy, *Simondon ou l'Encyclopédisme génétique*, Paris, Puf, 2008.

4. Giovanni Carrozzini, « La contribution de Gilbert Simondon au naturalisme », voir dans le présent numéro d'*Appareil*. <https://appareil.revues.org/2206>

5. Gilbert Simondon, *Du Mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 2012, p. 215. Désormais désigné par MEOT.

6. *Id.*

7. *Ibid.*, p. 72, 150, 157, 199, 215, 278-280, 288, 312-314, 336.

8. ILFI, p. 288.

9. Par exemple, sur l'individuation du cristal : « La différence entre le germe et le milieu amorphe cristallisable n'est donc pas constituée par la présence ou l'absence absolue d'une structure mais par l'état d'actualité ou de virtualité de cette structure » (ILFI, p. 87) et « sa limite n'est pas, relativement à la structure du cristal, plus éloignée du centre que les autres points ; la limite du cristal est virtuellement en tout point » (ILFI, p. 95).

10. Jean-Hugues Barthélémy, *Penser la connaissance et la technique après Simondon*, Paris, L'Harmattan, 2005, p. 125.

11. Jean-Toussaint Desanti, *Les Idéalités mathématiques*, Paris, Le Seuil, 1968, p. 84-93.

12. Voir Charles Sanders Peirce, *Collected Papers*, vol. V, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1935, § 186.

13. ILFI, p. 287.

14. MEOT, p. 72.

15. Jean-Toussaint Desanti, *La Philosophie silencieuse*, Paris, Le Seuil, 1975, p. 227 : « Une "idéauté" mathématique n'est rien d'autre qu'une indication de procédure opératoire ou démonstrative. Seule une procédure d'écriture la fixe comme "objet", même si le plus souvent cette procédure reste elle-même idéale ».

16. MEOT, p. 150.

17. *Id.*

18. MEOT, p. 157.

19. MEOT, p. 199.

20. Umberto Eco, *Les Limites de l'interprétation*, Paris, Grasset, 1994.

21. Vincent Bontems, « Analogies techniques et raisonnements analogiques », in Sophie de Beaune, Liliane Hilaire-Perez et Koen Vermeir (dir.), *Analogie et Technique*, à paraître.

22. MEOT, p. 278.

23. MEOT, p. 278-279.

24. Gilles Châtelet, *Les Enjeux du mobile. Mathématique, physique, philosophie*, Paris, Le Seuil, 1993, p. 45.

25. MEOT, p. 279-280.

26. MEOT, p. 278.

27. *Loc. cit.*
28. Gilbert Simondon, « Psychosociologie de la technicité » in *Sur la Technique*, Paris, Puf, 2014, p. 56.
29. Vincent Bontems, « Esclaves et machines, même combat ! L'aliénation selon Marx et Simondon », *Cahiers Simondon*, numéro 5, Paris, L'Harmattan, 2013, p. 9-24
30. Andrea Bardin, *Epistemology and Political Philosophy in Gilbert Simondon. Individuation, Technics, Social Systems*, Dordrecht, Springer, 2015.
31. MEOT, p. 313.
32. *Loc. cit.*
33. Voir Vincent Bontems, « L'énergétique de Simondon : progrès versus puissance » in Vincent Bontems (éd.), *Gilbert Simondon et l'Invention du futur*, Paris, Klincksieck, 2016 (à paraître).
34. MEOT, p. 314.
35. Gilles-Gaston Granger, *Le Probable, le Possible et le Virtuel*, Paris, Odile Jacob, 1995, p. 80.
36. *Ibid.*, p. 81.
37. Jean-Toussaint Desanti, 1975, p. 210.
38. Friedrich Schelling, « Idées pour une philosophie de la nature (1797) » in *Essais*, Paris, Aubier, 1946, p. 86-87. Cité in Gilles Châtelet, *Enjeux du mobile. Mathématique, physique, philosophie, op. cit.*, p. 139.
39. Pierre Lochak, *Mathématiques et Finitude*, Paris, Kimé, 2015, p. 407.
40. MEOT, p. 336.

RÉSUMÉS

On ne trouve aucune formulation du statut ontologique des mathématiques dans l'œuvre de Gilbert Simondon. Cela tient, selon nous, à ce qu'on ne peut attribuer un mode d'existence aux mathématiques dans l'horizon de sa philosophie de la nature : si « exister » signifie « devenir dans l'espace et le temps », alors les mathématiques *n'existent pas*. En revanche, on trouve chez Simondon une modalité de l'être distincte de l'actuel et du potentiel, le *virtuel*, dont il n'est donné aucune dérivation ontogénétique. Notre hypothèse est que le virtuel compense l'absence des mathématiques en tant qu'il qualifie la réalité inexistante (non-actuelle et non-potentielle). Le virtuel, qui est invoqué explicitement pour désigner le statut d'un futur anticipé au cours de l'acte d'invention, désignerait implicitement le mode d'inexistence des mathématiques. Les propriétés du virtuel — qu'elles soient objectives comme l'omni-spatio-temporalité ou subjectives comme le caractère optatif — correspondent en effet à des propriétés avérées des mathématiques. L'universalité du virtuel, qui se manifeste aussi bien dans la virtualisation de la valeur technique au cours de l'échange économique que dans une orientation politique des transformations sociales vers un futur possible, repose aussi sur l'intuition mathématique de l'impossibilité d'une impossibilité. Cette redéfinition du virtuel en tant que mode d'inexistence des mathématiques dépasse alors la conception hylémorphique des mathématiques comme formes immatérielles, et répond à de nombreux obstacles métaphysiques.

En tant que structure relationnelle inexistante de la nature, elle explique en outre comment le virtuel conditionne le physiquement possible, c'est-à-dire le passage du potentiel à l'actuel. Si le virtuel désigne alors la plus grande extension du réel, l'état préindividuel de l'être n'est

cependant pas réductible à un plan unique de consistance, car le virtuel mathématique est non saturable, toujours divergent et lacunaire.

INDEX

Mots-clés : Châtelet (Gilles), Futur, Invention technique, Mathématiques, Métaphysique, Mode d'inexistence, Ontologie, Optatif, Philosophie de la nature, Possible, Virtuel

AUTEUR

VINCENT BONTEMS

Chercheur au Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière (Larsim-CEA). Il est l'auteur de *Bachelard*, (Belles Lettres 2010)



Actualité d'une philosophie des machines

Vincent Bontems

► **To cite this version:**

Vincent Bontems. Actualité d'une philosophie des machines. Revue de Synthèse, Springer Verlag, 2009, 130 (1), pp.37-66. <10.1007/s11873-009-0069-4>. <hal-00478458>

HAL Id: hal-00478458

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00478458>

Submitted on 30 Apr 2010

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.

ACTUALITÉ D'UNE PHILOSOPHIE DES MACHINES

Gilbert Simondon, les hadrons et les nanotechnologies

Vincent BONTEMS*

RÉSUMÉ : *Du mode d'existence des objets techniques* (1958) demeure une œuvre singulière dans l'horizon philosophique. Toutefois, tout au long de sa carrière, Gilbert Simondon s'est exprimé sur la technique. L'originalité de ses travaux est d'analyser les machines en tant que matière organisée. Cette orientation renvoie à la divergence entre les recherches française et allemande sur la technique au xx^e siècle. Simondon couple la mécanologie à une psycho-sociologie des techniques. En vue d'une réactualisation opératoire, ces deux approches sont mises à l'épreuve du grand collisionneur de hadrons (LHC) et du « halo » psychosocial des nanotechnologies.

MOTS-CLÉS : LHC, machines, nanotechnologie, Simondon, technique.

REVISITING A PHILOSOPHY OF MACHINES

Gilbert Simondon, hadrons and nanotechnologies

ABSTRACT: *On the mode of existence of technological objects (1958) remains a strange work on the philosophical horizon. Yet, all along his career, Gilbert Simondon has expressed himself on technique. The originality of his works is the analysis of machines as organised matter. This orientation sends us back to the divergence between French and German research on technique in the 20th century. Simondon joins mecano-logy to a psycho-sociology of techniques. In view of an operational reactualisation these two approaches are put to the test of the Large Hadron Collider (LHC) and to the psychosocial "halo" of the nanotechnologies.*

KEYWORDS: *LHC, machines, nanotechnology, Simondon, technique.*

* Vincent Bontems, né en 1974, ancien élève de l'École normale supérieure de Lettres et Sciences humaines, agrégé de philosophie, docteur en philosophie et histoire des sciences, est philosophe des techniques au Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Ses travaux portent sur l'épistémologie des échelles, le concept d'analogie, la socio- logie des sciences et l'œuvre de Gilbert Simondon. Il a notamment publié « De la science normale à la science marginale. Analyse d'une bifurcation de trajectoire scientifique : le cas de la Théorie de la Relativité d'Échelle » (*Information sur les sciences sociales*, 2007) et « Gilbert Simondon's genetic "mechanology" and the understanding of laws of technical evolution » (*Techne*, 2008).

Adresse : CEA-Saclay, SPEC/LARSIM, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex.

Courrier électronique : vincent.bontems@cea.fr.

DIE AKTUALITÄT EINER PHILOSOPHIE DER MASCHINEN
Gilbert Simondon, die Hadronen und die Nanotechnologien

ZUSAMMENFASSUNG: Das Werk „Über den Existenzmodus technischer Objekte“ (1958) verbleibt im philosophischen Umkreis einzigartig. Doch Gilbert Simondon hat sich während seines ganzen Berufsweges über die Technik ausgesprochen. Die Originalität seiner Arbeiten liegt darin, Maschinen als organisierte Materie zu analysieren. Diese Orientierung verweist auf die Divergenz zwischen französischen und deutschen Untersuchungen zur Technik im 20. Jahrhundert. Simondon koppelt die Mechanologie an eine Psychosozialogie der Technik. Unter dem Aspekt einer operationellen Re-Aktualisierung werden diese beiden Ansätze am Fall des großen Hadron-Colliders (LHC) und der psychosozialen „Halo“ der Nanotechnologien auf die Probe gestellt.

STICHWÖRTER: LHC, Maschinen, Nanotechnologie, Simondon, Technik.

فينسان بونتاسفينسان بونتاس جديد فلسفة الآلات جيلبار سيموندون، الأدرونات والنانوتكنولوجيات

ملخص: يشكّل "كتاب طريقة كينونة الأشياء التقنية (1958)" عملاً نادراً مقارنةً بالأفق الفلسفي. برغم أنّ جيلبار سيموندون قد عبّر، طيلة مشواره، عن موضوع التقنية. تكمن أصالة أعماله في فكرة تحليل الآلات كمادّة منظمة. يدل هذا التوجه على الاختلاف بين البحوث الفرنسية والبحوث الألمانية حول موضوع التقنية في القرن 20. يجمع سيموندون بين علم الميكانيك وعلم النفس الاجتماعي للتقنيات. وفي سبيل تجديد عملي تمّ امتحان هاته المقاربات من خلال أكبر مهتم بالهادرون (LHC) والهالو البسيكو اجتماعي للنانوتقنيات.

الكلمات المفتاحية: لافيت، (LHC)، آلات، نانوتقنيّة، سيموندون، تقنيّة.

機械の哲学に関する現状。ジルベール・シモンドン、ハドロンとナノテクノロジー
 ヴァンサン・ボンタム

要約: 技術的对象の存在様式 (1958) は哲学の分野で得意な書物である。しかしながら、その長い経歴をとおして、ジルベール・シモンドンは技術に関して意見を述べてきた。彼の研究の独創性は機械を組織的なものとして分析したことにある。この方針は、20世紀の技術に関するフランス人研究者とドイツ人研究者の間で、意見の不一致を導くことになる。シモンドンはナノテクノロジーを機械の心理社会学と連結させた。操作上の再現化を目指して、この2つのアプローチは、大型ハドロン衝突型加速器(LHC)とナノテクノロジーにおける社会心理学的「ハロ」において考査されることになる。

キーワード: ラフィット、大型ハドロン衝突型加速器、機械、ナノテクノロジー、シモンドン、技術

Un demi-siècle après sa parution en 1958, *Du mode d'existence des objets techniques* demeure un livre sans pareil dans le champ de la philosophie française, et fait figure d'ouvrage de référence pour tous ceux qui réfléchissent sur les machines¹. La conceptualisation s'y développe selon une perspective presque inespérée² : comprendre le sens de la technicité à travers la genèse des objets techniques et évaluer leur évolution suivant des critères établis *de l'intérieur*. Non pas seulement avec les connaissances de l'ingénieur ou du technicien, mais du point de vue de la technicité, en se mettant, pour ainsi dire, à la place des objets techniques. L'« essence » de la technique n'y est point considérée comme un domaine isolé ou fermé, mais comme une « phase » parmi d'autres au sein de la culture. La matière organisée y recouvre sa dignité pour qui reconnaît ce qu'il y a d'éminemment humain dans la technicité des artefacts. L'ensemble constitue un plaidoyer en faveur de l'émergence d'une culture technique³. Mais la réflexion de Gilbert Simondon sur les machines ne se réduit pas à un livre : ce travail pionnier a été complété et approfondi par de nombreux cours et articles, parfois inédits ou souvent devenus introuvables. Certains visent à établir la mécanologie génétique comme une discipline autonome, d'autres éclairent la réalité technique sous un autre angle théorique, celui de la psychosociologie. Le couplage de ces deux approches résulte d'une philosophie des machines.

Pour expliciter en quoi sa réflexion demeure pertinente face aux enjeux technologiques de notre temps, nous reviendrons d'abord sur la trajectoire de Simondon, philosophe et technologue. Puis, nous montrerons que sa pensée prend les objets techniques comme objets d'analyse, qu'elle est bien une philosophie des machines et non une philosophie de « la machine », où la notion serait employée de manière métaphorique pour définir d'autres objets. Cette distinction renvoie à la divergence, dans la première moitié du xx^e siècle, entre les traditions de recherche française et allemande sur la valeur des techniques industrielles. Nous présenterons ensuite deux « chantiers » où les concepts de Simondon s'avèrent d'actualité. Sa mécanologie génétique est en effet applicable à la lignée technologique des accélérateurs de protons qui aboutit au Large Hadron Collider (LHC) récemment mis en service au CERN. Sa psychosociologie de la technicité, quant à elle, complète cette approche par l'analyse de l'insertion des objets techniques en milieu social et culturel en fonction des résonances de leurs « halos » psychosociaux. Elle éclaire les enjeux du développement actuel des nanotechnologies. La raison pour laquelle ces approches ne sont pas intégrées aux méthodes de conception et aux stratégies mercatiques des nanotechnologies

1. SIMONDON, 1958.

2. DUCASSÉ, 1958, p. 90, portait ce jugement l'année même où parut l'ouvrage de Simondon : « D'une façon générale, on peut dire que chez le grand philosophe, dont la technie est raffinée, l'information technique – envisagé sous sa forme assimilatrice et surtout sous sa forme de participation – n'est pas à la hauteur des recherches de sens : soit qu'elle se fie trop à la pure rétrospectivité (histoire et préhistoire), soit qu'elle oublie l'*actualité* de l'engagement technique ; chez d'autres, au contraire, dont le sens technologique ou antitechnologique est naturellement orienté vers les points de crises – et de dévoilement – l'instrument philosophique de révélation et d'élucidation *universelle*, quand il n'est pas radicalement déficient, se montre par trop inégal à la tâche. » On peut lire en creux dans cette critique le double cahier des charges auquel Simondon se soumet dans le même contexte.

3. HOTTOIS, 1993.

n'est, selon nous, pas accidentelle. La philosophie des machines n'est pas tant une discipline ou une spécialisation qu'une entreprise synthétique qui combine la mécanique et la psychosociologie de la technique⁴. En outre, ces deux éclairages du « fait technique » sont irréductibles à des méthodes opératoires parce qu'ils ne prennent sens que par un engagement éthique vis-à-vis des machines qui implique de relativiser une évaluation strictement économique.

ESQUISSE D'UNE TRAJECTOIRE DE TECHNOLOGUE

La trajectoire de Gilbert Simondon (1924-1989), depuis son milieu d'origine jusqu'à son intégration parmi les « normaliens philosophes », en 1944, parvenus au sommet de l'institution scolaire, s'inscrit au sein d'une famille de parcours analogues somme toute assez classiques. Toutefois, si l'on se réfère, comme Pierre Bourdieu dans *Les Méditations pascalienues*, à l'espace des possibles, tel qu'il se présentait au sortir de la Seconde Guerre mondiale à un jeune provincial sélectionné par l'institution scolaire, sa trajectoire ultérieure apparaît fort singulière : admis comme philosophe à l'École normale supérieure, il s'y est formé à l'électronique, puis, après avoir passé l'agrégation de philosophie, il a enseigné la physique en lycée (1948-1955), pour finir par diriger un laboratoire de « psychologie générale et technologie » (1963-1983). Ses biographies, que ce soit la brève notice de François Laruelle⁵, directeur de la collection où fut publié *Du mode d'existence des objets techniques*, ou le discours solennel prononcé par le ministre de la Recherche et de la Technologie, Hubert Curien, au premier colloque sur Simondon⁶, en 1992, éclairent la cohérence de ces choix par ses origines, et notamment par sa ville natale, Saint-Étienne. Ville industrielle, marquée par l'implantation de sa manufacture d'armes (Manufrance), celle-ci vaut comme symbole du « milieu associé » dans lequel sa pensée s'est formée : un milieu provincial, aux racines rurales et paysannes, dominé par le monde de l'industrie. La fréquentation précoce d'ingénieurs miniers et des techniques associées au monde agricole aura dû lui inspirer le respect de l'intelligence qui ne vise pas tant à contempler le monde qu'à s'assurer une prise effective sur lui. Mais, s'il fut profondément imprégné par cette culture technique, pourquoi voulut-il alors se réaliser en tant que philosophe ?

4. Soulignons à ce propos la lucidité du constat de PACOTTE, 1933, p. 134 : « Il semble bien qu'il faut imputer l'absence d'une science pure de la technique à une déficience de l'esprit de synthèse. »

5. LARUELLE, 1992, p. 3739 : « Né à Saint-Étienne. École normale supérieure (1944-1948) où il découvre l'électronique ; études de philosophie, de psychologie et d'électronique ; agrégation de philosophie et licence de psychologie (1948) ; doctorat ès Lettres de philosophie (1958). Assistant puis professeur de psychologie aux universités de Poitiers (1955-1964), de Paris-Sorbonne puis de Paris-V-René-Descartes (1964-1984). »

6. CURIEN, 1994, p. 12 : « Né à Saint-Étienne, dans un milieu très industriel, fréquentant dès sa jeunesse les ingénieurs, attentif dès ce moment aux processus d'invention, c'était un homme de grande culture scientifique, particulièrement en physique et en biologie, qui ne confondait pourtant pas la dynamique proprement technologique avec la dynamique scientifique. C'était aussi un penseur exemplaire du devenir culturel, des réalités psychologiques et sociales : il ne découpait pas artificiellement le monde à partir de la si regrettable séparation entre sciences de la nature d'une part, sciences de l'esprit de l'autre. »

Ses potentiels avaient un spectre si large qu'il ne fait guère de doute qu'il aurait pu devenir ingénieur aussi bien qu'universitaire. Pour qu'il choisisse la seconde voie, il fallait que sa perception des valeurs scolaires ne diffère pas grandement de celle qu'indique Bourdieu. Celui-ci a appartenu à la promotion qui est entrée à l'École normale au moment où Simondon l'a quittée. « Jusqu'aux années cinquante, la philosophie l'emportait en prestige sur toutes les autres disciplines et le choix de la philosophie, en classe terminale, et au-delà, au détriment de "math élem" n'était pas nécessairement un choix négatif déterminé par une moindre réussite en science⁷. »

Devenir philosophe signifiait un accomplissement et non une spécialisation. L'accession à cette position ouvrait des perspectives de rayonnement culturel pour une réflexion abstraite à vocation universelle. Toutefois, la trajectoire de Simondon accomplit une rupture avec ce modèle dominant mais déjà usé à l'époque où elle se déroule. À la rue d'Ulm, Georges Canguilhem incarnait le modèle d'une double formation, alliant à la rigueur du raisonnement philosophique la maîtrise des connaissances d'une « matière étrangère » (la médecine). Simondon radicalise cette posture en prenant pour principal centre d'intérêt extérieur des activités techniques dont la valeur culturelle est méconnue. Là où Bourdieu dénonce la connivence des philosophes autour de textes hermétiques, Simondon critique seulement les bases technologiques dépassées de cette solidarité intellectuelle. Dans son cas, l'*illusio* propre à la discipline philosophique n'était pas en cause.

S'initier aux spéculations d'Aristote sur « l'union de la forme et de la matière » aurait pu éloigner un philosophe de toute réflexion informée sur la technique. Mais c'est en restant attentif au fonctionnement des machines que Simondon conteste l'hylémorphisme. Risquons une hypothèse : c'est la synthèse précoce accomplie en lui-même entre la culture scolastique et les connaissances technologiques de son temps qui a commandé cette trajectoire intellectuelle. Sans que le dessein de réactualiser les bases technologiques de la culture philosophique ait forcément constitué un objectif conscient permanent, à travers une série de calculs réfléchis, il faut reconnaître à la recherche d'une identité en accord avec les dispositions de l'individu une puissance explicative vis-à-vis de ses orientations théoriques et pratiques. C'est une alliance des contraires – plus précisément de ce que les représentations sociales tiennent pour telles – entre la connaissance opératoire des techniques et l'aspiration à la reconnaissance de la dignité philosophique de cette connaissance, qui a guidé ses choix de carrière. Sans exclure l'incidence d'autres facteurs contingents qu'une enquête historique plus complète mettrait sans doute au jour, cette hypothèse explique le passage d'une affirmation philosophique ambivalente, où se sont mêlées les ressources du langage technologique dans la « petite thèse » et la discussion des thèses de la tradition pérenne dans la « grande thèse », à une professionnalisation au titre de psychologue et technologue. En procède un habitus clivé que *Du mode d'existence des objets techniques* définit expressément : « Cette prise de conscience nécessite l'existence, à côté du psychologue et du sociologue, du technologue ou *mécanologue*⁸. »

7. BOURDIEU, 1997, p. 46.

8. SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 13.

L'AMPLIFICATION DE *DU MODE D'EXISTENCE DES OBJETS TECHNIQUES*

L'ouvrage paru en 1958 est un manifeste en faveur d'une nouvelle façon de philosopher en même temps qu'un plaidoyer pour la dignité des machines en tant qu'objets de connaissance et de culture. Le *press-book* que Gilbert Simondon s'était constitué à la sortie de cet ouvrage est éclairant⁹ : il contient les recensions de revues de quatre types. Signe d'un certain retentissement, on y trouve la presse quotidienne régionale et nationale : *Le Patriote de Lyon* du 24 juin 1958 (Jean-Marie Auzias), *Le Supplément littéraire du Nouvel Alsacien* du 16 juillet 1958 (M. Sédencelle) et *Le Monde* du 26 février 1959. Viennent ensuite un bon nombre de revues spécialisées en philosophie et en pédagogie qui témoignent d'une solide reconnaissance universitaire : *Les Temps Modernes* de juillet 1958, la *Revue internationale de philosophie* de 1958, le *Bulletin des facultés catholiques de Lyon* de 1958 (Régis Jolivet), *Les Études classiques* de janvier 1959 (J. Javaux), la *Revue de métaphysique et de morale*, numéro 2 de 1959, *Les Études philosophiques*, numéro 2 de 1959 (Louis Millet), *L'École* du 3 janvier 1959, le *Bulletin critique du livre français* de décembre 1958, ou encore la *Nouvelle revue théologique* de l'université de Louvain. Puis, des revues francophones à destination internationale : les *French News* de l'été 1959 et le *Bulletin de l'Agence de la presse étrangère et de la Direction des relations culturelles*, en décembre 1958, avec un article de Jean-Louis Bruch intitulé « Vers une philosophie de la technique ». Enfin, au-delà des sphères académiques, le livre est aussi signalé et recommandé dans certaines revues de vulgarisation technique, *Toute la Radio* ou encore *Radio plans*, daté du 16 juin 1958.

L'auteur avait consigné dans ce dossier une correspondance instructive. Canguilhem, son directeur de thèse, lui adresse une brève missive à l'en-tête de l'Institut d'histoire des sciences et des techniques, le 20 février, lui annonçant que l'ouvrage est sous presse. L'ingénieur Jean Guimbal, concepteur de la turbine-bulbe de l'usine marémotrice de la Rance, à laquelle Simondon consacre des pages élogieuses, témoigne de son vif intérêt. Réagissant à l'appel en faveur d'une réconciliation de la culture humaniste et de la civilisation technologique, il précise être issu d'une famille où les deux cultures étaient à l'honneur et avoir vécu sa propre spécialisation à l'École des Mines comme une mutilation. L'académicien Louis de Broglie envoie sa carte de visite avec ses remerciements. Une lettre du philosophe des sciences Robert Blanché, adressée au *Bulletin de l'université de Toulouse*, en 1959, et transmise à Simondon, recommande la lecture de l'ouvrage. Une autre, de Gilles-Gaston Granger, datée du 7 juillet 1958, éclaire les conditions de la réception par les philosophes : Granger indique avoir lu l'ouvrage sur le conseil de Jules Vuillemin, et fait état de son intérêt pour l'opposition entre « le fond et la forme », avant d'émettre des réserves sur le statut attribué aux schèmes et de critiquer la sous-évaluation de l'aliénation économique. On y perçoit le malaise d'un philosophe désarçonné par l'originalité d'une pensée qui ne s'accorde ni avec l'hylémorphisme aristotélicien (qu'il croit retrouver dans le couple fond-figure), ni avec le

9. Nous voulons rendre ici hommage à la mémoire de M. Michel Simondon qui a porté ces éléments à notre connaissance.

schématisme kantien ou la problématique marxiste. Simondon fit en outre adresser des exemplaires à des revues de vulgarisation technique et à des entreprises. Le directeur de la Société des éditions Radio remercie l'auteur et l'assure qu'il peut compter sur sa revue (*Toute la Radio*) pour s'en faire l'écho (comme ce fut le cas, on l'a vu). Une lettre du service de presse de la société Philips, datée du 20 mai 1958, informe l'auteur que la lecture de l'ouvrage sera recommandée au sein de l'entreprise.

Aussi naïve qu'elle puisse apparaître rétrospectivement, la stratégie de l'auteur visant à mettre en contact l'université et le monde de l'industrie a donc suscité l'intérêt. D'une part, la publication de *Du mode d'existence des objets techniques* lui assura immédiatement une réputation de spécialiste de la technique au sein du champ de la philosophie française. D'autre part, le livre connut une diffusion hors des canaux traditionnels de la philosophie à travers l'enseignement technique, dans des écoles d'ingénieurs, dans le milieu du design industriel. Mais au retentissement initial succéda une longue période d'isolement selon une séquence qui se reproduira à l'identique, en 1964, à la sortie de *L'Individu et sa genèse physico-biologique*¹⁰. Simondon devint la référence dont les élèves normaliens faisaient état pour dissenter sur la technique avant de l'oublier pour le restant de leur carrière. Quant aux techniciens qui avaient apprécié l'ouvrage, il n'est pas rare d'en croiser lors des manifestations dédiées à l'œuvre de Simondon, fort étonnés qu'elle soit pratiquée par les philosophes et par leur manière.

La plupart des commentateurs ont constaté l'échec de *Du mode d'existence des objets techniques* à faire souche comme manuel de technologie. Saluant la nouveauté et l'excellence de ce travail, ils soulignent que ce livre était à la fois trop technique pour séduire l'honnête-homme et d'un style trop « philosophant » pour donner prise à une interprétation opératoire. Le technologue John Hart analyse ainsi l'effet que produisit sur ses pairs l'étrange facture du livre :

« La première édition avait été publiée sans ces diagrammes, omission de l'éditeur pour des raisons financières, compréhensible mais néanmoins assez révélatrice. Sans cette représentation non verbale qui se révèle essentielle, le livre, lorsqu'il fut publié dans la collection "Analyse et Raison" des éditions Aubier, portait l'étiquette et la manière d'une étude philosophique. La présentation impliquait que ce livre devait être considéré dans la lignée de la tradition française philosophique plutôt que comme un départ radical¹¹. »

Hart cite pour preuve de cette réception philosophique traditionnelle le compte rendu de Granger qui qualifie l'ouvrage d'« essai brillant et solide sur l'objet technique ». La lecture de ce compte rendu (qui semble avoir échappé à Simondon) renforce l'impression d'un malentendu plutôt qu'elle ne la dissipe. Granger ne cite les concepts qui apparaissent dans *Du mode d'existence des objets techniques* qu'entre guillemets. La rupture épistémologique revendiquée avec l'hylémorphisme ne le dissuade pas de chercher à retraduire les thèses de l'ouvrage dans un langage aristotélien : « [...] le perfectionnement propre à la technologie consiste à passer de la machine "abstraite"

10. SIMONDON, 1964.

11. HART, 1969, p. IV.

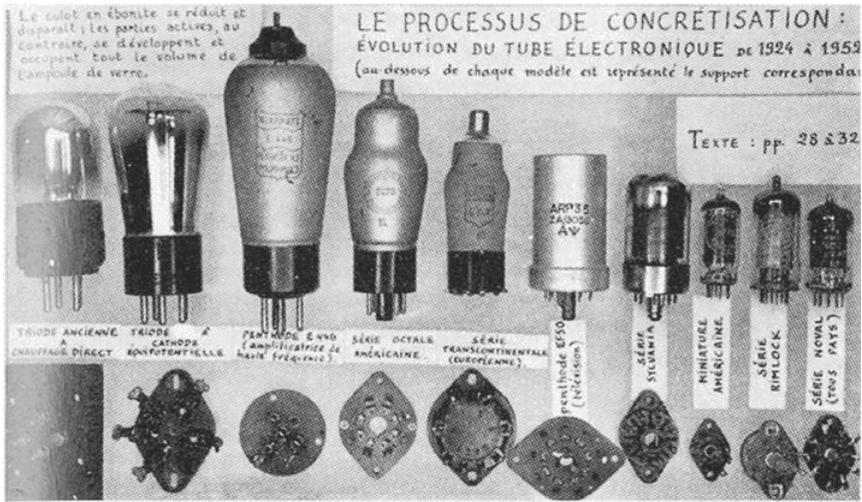


Fig. 1. Du mode d'existence des objets techniques, pl. iv (détail).
Le processus de concrétisation du tube électronique (1924-1952).

à la machine “concrète” dans laquelle les organes sont plus ou moins intégrés dans le tout. Les antagonismes et limitations réciproques sont progressivement effacés, le fonctionnement global, et en résumé, l'objet technologique approche l'objet naturel par d'autres voies que celle de la nature¹². » Mais Simondon avait précisé : « [...] pour que cette technologie générale ait un sens, il faut éviter de la faire reposer sur une assimilation abusive de l'objet technique à l'objet naturel et particulièrement au vivant¹³. »

Symétriquement, Simondon souffrira longtemps d'une autre forme de préjudice à travers la réduction abusive de son œuvre à la philosophie de la technique considérée comme une spécialité insolite : « C'est à cette postérité de “penseur de la technique” que l'auteur d'un projet philosophique ambitieux visant à renouveler en profondeur l'ontologie [doit d'avoir] été davantage cité dans des rapports pédagogiques sur l'enseignement de la technologie qu'invité à des colloques de philosophie¹⁴. » La précision technique fit écran à la compréhension des ambitions profondes de l'ouvrage par les philosophes, tandis que la perception de ces enjeux non pragmatiques dissuada les techniciens de l'intégrer à leur discours. Paradoxe d'autant plus cruel que chaque évaluation, prise en elle-même, s'avère concluante, tant elle révèle la présence d'une information solide. Ni livre de philosophie « pure », ni manuel de technologie, *Du mode d'existence des objets techniques* résiste à ces lectures unilatérales réductrices.

« Et pourtant, bien que revues et commentaires aient été favorables, la thèse de Simondon sur la nature intrinsèque de la machine ne s'est pas intégrée au discours technique contemporain et n'est pas aussi connue que la plupart des études publiées

12. GRANGER, 1961, p. 23.

13. SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 48.

14. COMBES, 1999, p. 5.

à la même époque ou plus tard, car bien que crédible en ce qui concerne l'optique particulière des savants en sciences sociales, philosophes, et critiques littéraires qui ont signalé sa venue, le langage employé pour écrire la mécanologie représente un obstacle pour tout le monde sauf pour les rares individus alliant le savoir à l'expérience en mécanologie, ce qui leur permet de combler le vide entre des domaines de compréhension jusque là séparés¹⁵. »

Toutefois on assiste récemment à une évolution : il ne se passe plus une année sans que paraisse un ouvrage, un numéro spécial d'une revue, que soit organisé un colloque, ou une journée d'étude sur Simondon, que soit republié un texte devenu introuvable ou que paraisse un inédit. Des traductions sont en cours en Italie, où *L'Individuazione psichica e collettiva* est déjà parue¹⁶, aux États-Unis, où sont traduites la première partie du livre *Du mode d'existence des objets techniques*¹⁷ et l'introduction de la thèse principale¹⁸, d'autres en Allemagne et en Amérique latine. Le recensement au moyen du *Web of Science* des articles où est cité le nom de Simondon fournit des informations concordantes. Cet outil bibliométrique, guère adapté à une objectivation quantitative des travaux philosophiques (tant il privilégie les articles, et particulièrement ceux des revues anglo-saxonnes), produit néanmoins, à travers l'examen des 167 références à Simondon recensées entre 1962 et 2007, la confirmation de l'intérêt croissant des chercheurs. On observe alors une hausse récente des citations (5 par an en moyenne à partir de 1992, plus de 10 à partir de 2004) ainsi qu'une grande dispersion disciplinaire : 19 % (32) proviennent de revues classées parmi les humanités, 17 % (29) de la philosophie, 11 % (19) de la sociologie, 10 % (17) de la psychologie ou de la psychologie appliquée, 10 % (16) des sciences sociales (regroupement de revues d'économie, de psychologie et de sociologie), et enfin 5 % (9) de l'anthropologie, le reste allant des sciences politiques à l'archéologie en passant par le management et la théorie littéraire. Une majorité est le fait de revues francophones (53 %), publiées en France, en Belgique et au Canada, mais à cette réception francophone s'ajoute désormais une réception anglophone dans 40 % des cas, principalement aux États-Unis et en Grande-Bretagne. Or, dans deux tiers des cas (114), la référence porte sur *Du mode d'existence des objets techniques*.

Une explication du contretemps qui affecta la réception de cet ouvrage est sans doute à chercher dans la tendance au découplage entre culture humaniste et civilisation technoscientifique que Simondon dénonçait lui-même : cette tendance s'opposait à toute amplification institutionnelle. La divergence pouvait paraître insurmontable, d'autant plus que l'autonomisation des sciences sociales s'est accompagnée du rejet de la revendication philosophique à l'égard de leur synthèse. Chaque discipline a alors revendiqué pour son propre compte un nouvel hermétisme qui a procuré un écran à l'horizon philosophique. Dès lors, une tentative encyclopédique ne pouvait qu'opérer à contretemps, c'est-à-dire à l'encontre du rythme que portait l'affirmation des disciplines. Mais l'intempestif explique aussi la résurgence de l'œuvre : isolé de son vivant face au marxisme, à l'existentialisme, au structuralisme et à tous les « ismes » du moment, *Du mode d'existence*

15. HART, 1969, p. VII.

16. SIMONDON, 2001.

17. SIMONDON, 1980.

18. SIMONDON, 1992.

des objets techniques demeure d'une singulière actualité après le déclin de ces courants de pensée. Simondon a donc aussi philosophé à contretemps.

En sorte que cette trajectoire inaboutie, de philosophe et de technologue, n'est pas achevée. D'autant plus que sa réflexion sur la technique ne se limite pas au livre de 1958. La campagne récente d'édition de nouveaux inédits comme la réédition de textes introuvables la prolongent. La parution récente, en 2005, du recueil *L'Invention dans les techniques* apporte de nouveaux éléments¹⁹. Le volume renforce toutefois l'impression que la contribution de Simondon à la philosophie des machines se résume à la mécanologie génétique développée dans la première partie de l'ouvrage de 1958. Le texte inédit de l'« Entretien sur la mécanologie », que nous présentons dans le présent numéro de la *Revue de synthèse*²⁰, corrigera sans doute en partie cette interprétation dans la mesure où Simondon y affirme expressément que sa réflexion vise à éveiller ses contemporains à la valeur culturelle des objets techniques. D'autres inédits ou d'autres écrits dispersés renforceraient cette nécessaire correction : qu'il ait traité de philosophie, de technologie, de cybernétique, de psychologie ou de mercatique, jamais Simondon ne s'est égaré. Ses différentes perspectives de recherche s'orientent toutes vers la résolution d'un problème central : abolir le conflit apparent entre la culture humaniste et la civilisation technologique en cherchant à combler le retard historique des schèmes culturels sur le progrès des opérations techniques²¹.

POLARISATIONS AUTOUR DE LA MACHINE

La conceptualisation des machines est d'abord une affaire européenne. Pour les besoins de notre démonstration, il suffira de s'en tenir aux traditions française et allemande. Deux traditions de recherches, assez convergentes, se sont formées à partir des travaux de l'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert – Simondon s'en réclame expressément – et du projet d'une « technologie générale » de Johannes Beckmann²², qu'il

19. SIMONDON, 2005. Il s'agit d'un cours de 1968, « L'invention et le développement des techniques », accompagné d'une conférence prononcée au second Congrès de mécanologie (1971), initialement paru dans les *Cahiers du centre culturel canadien*, « L'invention dans les techniques ». Le volume contient aussi plusieurs extraits d'autres cours : « Imagination et Invention » (1965-1966), déjà intégralement paru dans des numéros du *Bulletin de psychologie de la faculté de Lyon* (1960-1961), « La résolution des problèmes » (1974) et « Invention et créativité » (1976) demeurés inédits. L'ensemble témoigne de la persistance et de la richesse de la réflexion de Simondon sur l'invention technique. Le texte principal étend les analyses de *Du mode d'existence des objets techniques* sur l'histoire des techniques et précise comment il s'est approprié les travaux de Jacques Lafitte (LAFITTE, 1932) ; un entretien entre Gilbert Simondon et Jean LeMoine, récemment publié dans *Il Protagora*, permet d'établir que le philosophe ne prit connaissance des travaux de Lafitte qu'au début des années 1970. Toutefois les extraits lacunaires laissent le lecteur sur sa fin. Il devra attendre les publications intégrales pour apprécier ces documents à leur juste valeur.

20. Voir, ci-après, p. 103-132. Le film de l'entretien peut être visionné sur le site de la Revue, à l'adresse suivante : <http://www.revue-de-synthese.eu/2009-1>.

21. C'est dire aussi que des publications à venir pourraient procurer un approfondissement de la mécanologie génétique, mais aussi de la psychosociologie de la technicité, rétablissant au passage un équilibre entre ces deux appréhensions complémentaires du fait technique.

22. BECKMANN, 1806.

semble avoir ignoré bien qu'il use lui-même de l'expression²³. Dans les deux cas, il s'agit d'élever au rang d'un enseignement académique les procédés techniques, même si la variante allemande possède déjà un caractère plus fonctionnaliste, puisqu'elle identifie l'objet technique à un moyen répondant à une intention.

Ces premiers travaux inciteront plusieurs savants du XIX^e siècle à envisager une systématisation des procédés technologiques : Gérard Joseph Christian propose qu'une « technonomie »²⁴ désigne la transformation de la production artisanale en travail industriel, tandis que plusieurs enseignants de l'École centrale des travaux publics (future École polytechnique), dont André Marie Ampère et Gaspard Monge, développeront le courant de la « cinématique » (avec de remarquables efforts de diagrammatisation des machines élémentaires chez Jean Hachette²⁵). Cette tradition de recherche aboutit à une synthèse critique, réalisée outre-Rhin en 1875 par Franz Reuleaux et rapidement traduite²⁶ (Simondon dit ne pas le connaître dans l'« Entretien sur la mécanologie »). En France, paraissent, en outre, les articles du *Mercure technologique*, fondé en 1818, *Du calcul de l'effet des machines* de Gustave de Coriolis (1829), et l'*Essai philosophique sur la technologie* du directeur de l'École nationale des ponts et chaussées, Léon Lalanne (1840). Cependant, à cette tradition formaliste (et polytechnicienne) s'oppose, à la fin du siècle, une approche plus anthropomorphe : la « praxéologie » d'Alfred Espinas²⁷. Enfin, la « philosophie des techniques » naît comme genre en 1877, en Allemagne, avec les *Principes de la philosophie de la technique* d'Ernst Kapp²⁸ qui fondent l'intelligibilité de la technique sur des analogies rudimentaires entre la forme des outils et la projection de schémas corporels.

Au XX^e siècle, les traditions de recherches françaises et allemandes vont développer une perspective évolutionniste (sans doute sous l'influence de la tradition britannique de zootechnie qui avait déjà intégré les travaux de Charles Darwin), mais il se produit une divergence : tandis que la tradition hexagonale, représentée en premier lieu par Jacques Lafitte²⁹ et Julien Pacotte³⁰, va demeurer fidèle à l'objectif d'une analyse systématique du fonctionnement des machines, la majorité des théoriciens allemands va comprendre la technique comme une application de la rationalité abstraite et du calcul. Ainsi, la « philosophie de la technique » allemande (Ulrich Wendt, Eberhard Zschimmer, Viktor Engelhardt, Friedrich Dessauer³¹) élargit la notion à toute pratique de subordination de moyens en vue de réaliser méthodiquement certaines fins. Chez Dessauer la réalisation de l'idée par la technique prend une tournure platonicienne. Mais, c'est Oswald Spengler qui exprime le mieux l'orientation anti-technologique de la philosophie des techniques dans son livre de 1931 : « Si nous voulons saisir l'essentiel de la technique, il ne faut pas partir de la technique de l'ère machiniste, encore moins de la notion

23. SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 48.

24. CHRISTIAN, 1819.

25. HACHETTE, 1811.

26. REULEAUX, 1877.

27. ESPINAS, 1897.

28. KAPP, 1877.

29. LAFITTE, 1932.

30. PACOTTE, 1931.

31. WENDT, 1906; ZSCHIMMER, 1914; ENGELHARDT, 1922; DESSAUER, 1927.

trompeuse suivant laquelle la confession d'outils et de machines serait le but de la technique³². » Sous son influence, des penseurs réactionnaires tels que Hans Freyer, Karl Jünger, Martin Heidegger (et, à travers lui, Günther Anders) développent la thèse d'une déshumanisation engendrée par la rationalité technique. Ce déplacement de la « machine », depuis la technologie vers une philosophie du « *struggle for life* », est lourd de conséquences, en particulier, du fait de la caractérisation spenglérienne de l'homme comme « bête de proie », dont les techniques sont avant tout les techniques de chasse : « [...] l'existence libre de l'animal est une lutte, rien qu'une lutte : c'est *sa tactique vitale*, sa supériorité ou son infériorité face à l'"autre" (que cet autre soit nature animée ou inanimée) qui décide de l'histoire de cette vie et détermine si son destin est de subir l'histoire des autres ou de la réaliser soi-même. *La technique est la tactique de la vie*³³. » Sans que la figure du prédateur soit toujours apparente, ces penseurs ont en commun de penser la technique avant tout comme un moyen de subsistance et une tactique de lutte pour la survie. Ils héritent aussi de Spengler la « machine de guerre », c'est-à-dire l'organisation militaire, comme paradigme du développement industriel. Cette philosophie de la technique perd de vue le fonctionnement des machines comme définissant l'objet de connaissance et se focalise sur le « sens » de l'importance croissante des machines dans la société moderne.

Dans le contexte de la défaite allemande de 1918, l'analyse de l'importance de la technique dans l'évolution de la civilisation induit une attitude pour le moins ambivalente d'exaltation de la puissance technique en même tant que de dépréciation de sa valeur culturelle. La machine devient la métaphore d'un ressentiment. Or, Simondon connaît assez bien cette tradition, pour avoir lu les travaux de Manfred Schröter³⁴, disciple de Spengler favorable au national socialisme, et un livre d'Eugen Diesel³⁵, fils de l'inventeur du moteur diesel (et lui-même ingénieur), qui écrit, en 1931, dans *Germany and the Germans* : « Il est vrai que partout, et spécialement dans l'Allemagne vaincue, les peuples attribuent la plus grand part du changement et des transformations en cours autour de nous à la tournure de la guerre. Mais, ce n'est pas tant la guerre qui a donné naissance à ce nouvel âge que le triomphe de la machine³⁶. »

Aux yeux de Simondon, la machine n'a certainement pas « triomphé » dans l'entre-deux-guerres, elle a été *asservie* à des objectifs de domination, et la colère engendrée par le désastre de la guerre et l'impuissance des individus se trompe de cible : « Ce n'est pas contre la machine que l'homme, sous l'empire d'une préoccupation humaniste, doit se révolter ; l'homme n'est asservi à la machine que quand la machine elle-même est déjà asservie par la communauté³⁷. » Symbole de cet asservissement de la machine qui se généralise ensuite aux hommes et au vivant en général, une expression se généralise dans l'Allemagne des années 1930 : il faut accomplir des « performances » (*Leistungen*) qui désignent autant des opérations militaires ou industrielles que des exploits sportifs.

32. SPENGLER, 1969, p. 42.

33. SPENGLER, 1969, p. 43-44.

34. SCHRÖTER, 1934.

35. DIESEL, 1939.

36. DIESEL, 1931.

37. SIMONDON, 2006, p. 527.

Pour Simondon, le découplage de la culture littéraire et de la civilisation technologique représente une crise dangereuse de la Culture qui devrait en constituer l'unité. L'attitude des « élites culturelles » allemandes, qui dénigrent la civilisation technique au nom de la préservation de la *Kultur*, s'apparente à une réaction profondément malsaine³⁸. Mais, on le sait, la révolution conservatrice a su aussi exploiter la frustration des ingénieurs qui considéraient que les progrès rapides de la technologie se heurtaient à l'évolution trop lente des schèmes culturels³⁹. La « modernité réactionnaire » fut l'idéologie par laquelle le national socialisme a combiné le désir de modernité technologique avec la nostalgie d'une société immuable. C'est pourquoi à l'échelle du siècle, il conviendrait de comparer la pensée de Simondon non pas tant avec la pensée de Heidegger⁴⁰ qui fut une manifestation de cette crise à l'allemande, qu'à d'autres recherches d'inspiration *technologique*, telles la cybernétique ou TRIZ (la théorie de la résolution des problèmes inventifs). Cela nous écarterait de notre propos : indiquons seulement que Simondon ne connaissait pas Genrich Altshuller, alors qu'il appréciait fort l'œuvre de Norbert Wiener, qu'il a rencontré en 1965 au colloque de Royaumont sur le concept d'information dans les sciences contemporaines⁴¹.

MÉCANOLOGIE DU GRAND COLLISIONNEUR DE HADRONS (LHC)

L'application féconde de la mécanologie à l'instrumentation scientifique n'a été que rarement soulignée⁴². L'instrumentation constitue pourtant l'exemple même de l'objet *concret* : ouvert aux échanges d'informations avec l'opérateur, il représente, à la fois, un objet de très haute technicité et de technicité pure, c'est-à-dire *a priori* sans impératif économique, ni finalité utilitaire. Sa fonction coïncide avec l'opération : le dispositif d'expérimentation constitue une matérialisation de la science d'autant plus raffinée qu'il est de plus haute précision. Il n'est pas seulement une application de principes antérieurs : son fonctionnement prouve l'existence de certaines structures naturelles.

Cela autorise le rapprochement avec la notion de « phénoménotechnique » développée par Gaston Bachelard⁴³ pour décrire la nature de l'observation en microphysique : l'instrument ne permet plus seulement l'observation, il interagit avec les phénomènes, il actualise certaines potentialités de la nature. L'instrumentation scientifique, conditionnée par la connaissance du sujet, est, donc, en même temps, la condition de la connaissance de l'objet. Sans l'appareil, pas d'interaction entre l'observateur et le phénomène observé : « [...] la machine prolonge et adapte l'un à l'autre sujet et objet, à travers un enchaînement complexe de causalités. Elle est outil en tant qu'elle permet au sujet d'agir sur l'objet, et instrument en tant qu'elle apporte au sujet des signaux venus de l'objet ; elle véhicule, amplifie, transforme, traduit et conduit dans un sens

38. SIMONDON, 1960, p. 131. Voir à ce sujet BONTEMS, 2006a.

39. HERF, 1984.

40. COMBES, 2006.

41. COUFFIGNAL, dir., 1965.

42. BARTHÉLÉMY, 2005, p. 141.

43. BACHELARD, 1934, p. 17.

une action et en sens inverse une information⁴⁴. » La notion d'observateur s'en trouve décentrée par rapport au sujet de la perception. « La position de l'homme et la position de la machine ne sont pas symétriques par rapport à l'objet : la machine a une liaison immédiate à l'objet, et l'homme une relation médiata⁴⁵. » En physique des particules, l'observateur phénoménotechnique est un dispositif d'amplification d'événements se produisant à des échelles très éloignées :

« L'instrument permet d'opérer pour l'observateur un changement d'ordre de grandeur. [...] C'est sans doute en partie ce rôle d'intermédiaire de l'instrument qui le fait si peu apparaître alors qu'il joue un rôle capital ; la perception, le savoir et l'action se situent aux niveaux bien définis des différents ordres de grandeur, alors que les instruments, ces intermédiaires ou adaptateurs, disparaissent du champ du savoir et de l'action, si bien que cette sorte d'objets ou de prolongements de l'opérateur sont rarement étudiés pour eux-mêmes⁴⁶. »

Dans cette perspective, il est pertinent de mettre le qualificatif de « phénoménotechnique » à l'épreuve du Large Hadron Collider (LHC) récemment mis en service au CERN. L'analyse de cette « machine » mobilise une panoplie des concepts de la mécanologie génétique. Il s'agit ici d'en donner un aperçu. En premier lieu, sa conception procède d'une résolution de problème, d'une invention et non d'une optimisation : le LHC représente un nouveau seuil franchi dans la *concrétisation* par rapport aux précédents accélérateurs de protons. Son fonctionnement n'est intelligible que si l'on distingue ses différents niveaux : l'immense machine qu'est le LHC est un ensemble technologique, non pas tant en raison de ses dimensions que de la complexité des différents milieux artificiels qu'il organise. Ses aimants ont besoin pour fonctionner d'une artificialisation extrême de leur milieu associé : ils sont entièrement refroidis par des liquides cryogéniques. Le LHC est, par ailleurs, inséré dans un double réseau d'énergie et d'information : il est associé à d'autres accélérateurs, plus petits que lui, pour être alimenté en protons et requiert un réseau informatique d'une puissance inégalée pour que soit traitée la masse des informations générées. Les aléas de sa construction ont produit des technologies auxiliaires de même technicité. En outre, seul le schéma de fonctionnement de ses détecteurs, beaucoup plus complexes que de simples instruments, éclaire leur finalité phénoménotechnique. Le LHC appartient à une lignée technologique, celle des accélérateurs de protons, dont on peut retracer l'évolution et caractériser le rythme de *relaxation* en repérant les progrès discontinus. Il représente une réalisation majeure : ce n'est ni un appareil ordinaire, ni un objet produit en série, mais un prototype portant à son maximum les possibilités techniques d'une époque. Considéré comme un *nec plus ultra*, et il se trouve par suite investi d'une charge symbolique peu commune. Sa construction représente un investissement considérable. Elle a mobilisé un travail de haute précision exceptionnel, et, plus encore que ces évaluations quantitatives, ce sont le caractère délibérément désintéressé de cet

44. SIMONDON, 2006, p. 523.

45. SIMONDON, 2006, p. 523.

46. SIMONDON, 1975.

investissement et la portée universelle du travail accompli qui lui confèrent une valeur extraordinaire. D'un point de vue organisationnel, la complexité de la collaboration entre les différents partenaires (laboratoires et entreprises) qui furent impliqués dans sa construction mérite l'attention. Il s'agit en fait d'un dispositif expérimental dont les résultats escomptés revêtent une importance cruciale pour le progrès des connaissances et le destin de la physique des particules, enjeux dont l'élucidation appellerait des développements épistémologique qui nous écarteraient de notre propos⁴⁷.

Le principe d'un collisionneur de proton comme le LHC est de propulser des protons dans un tunnel souterrain circulaire, de leur conférer une quantité d'énergie exceptionnelle, avant de produire une collision entre deux flux inverses, cela afin d'observer les particules produites lors de la collision. Anatole Abragam insiste, dans ses mémoires⁴⁸, sur le passage des collisionneurs linéaires sur cibles aux synchrotrons circulaires, où l'on peut accélérer davantage les flux de particules en leur faisant faire plusieurs tours avant de les faire se croiser. Plus les particules sont accélérées, plus leur inertie augmente et l'énergie libérée au moment de l'impact est importante. En concentrant autant d'énergie en un événement aussi bref, l'accélérateur permet de « remonter le temps », c'est-à-dire de recréer localement, durant un très court laps de temps, les conditions physiques qui prévalaient dans l'univers primordial. À un niveau d'énergie aussi élevé, certaines particules élémentaires confinées au sein des protons, tels que les quarks et les gluons, évoluent librement. Le LHC recrée ainsi artificiellement des potentialités naturelles révolues à la surface de la Terre: l'état plasmatique engendré est l'état physique le plus proche de cette « préindividualité » que Simondon caractérise comme étant une surabondance énergétique à l'origine de la genèse des individus physiques.

Alors que la mécanique quantique que pouvait lui enseigner Yves Rocard à l'École normale supérieure, dans les années 1940, considérait encore les protons comme des particules élémentaires, il faut accomplir tout un travail de réactualisation de la théorie de l'individuation de Simondon, en fonction de l'état actuel de la théorie quantique des champs (le « modèle standard »), si l'on veut retrouver un point d'accroche à l'intuition simondonienne au travers de l'opération du LHC. Le proton est une particule composite, constituée de quarks et de gluons dont les interactions sont l'événement recherché: le LHC étudie le résultat des collisions quark-quark, quark-gluon et gluon-gluon. Le but de la collision des protons n'est pas de les faire éclater, mais d'observer l'individuation de nouvelles particules. En vertu de l'équation relativiste $E = mc^2$, l'énergie cinétique accumulée des protons va se convertir en matière lors de la collision et engendrer la création de particules, dont certaines très instables qui ne tarderont pas à se désintégrer en d'autres particules moins énergétiques, dont certaines susceptibles de se désintégrer à leur tour, jusqu'à ce que l'énergie libérée se soit dissipée.

Pour atteindre ce résultat, le LHC sera capable, à terme, d'accélérer chaque flux de protons à une vitesse proche de celle de la lumière jusqu'à leur conférer une énergie cinétique de 7 tétra-électron-volt (TeV), leur collision libérant donc une énergie de l'ordre

47. Pour aller plus loin, voir les travaux en cours d'Alexei Grinbaum et d'Étienne Klein au LARSIM: http://iramis.cea.fr/spec/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_groupe.php?id_groupe=748.

48. ABRAGAM, 1987.

de 14 TeV. La conception d'une machine capable d'une telle performance ne pouvait qu'être inventive car elle survient après la saturation de la génération précédente : les machines antérieures ont poussé à leurs limites leurs modèles d'organisation. Le Tévatron (collisionneur proton-antiproton), en service au Fermilab, culmine à 2 TeV. La conception du LHC ne résulte pas de l'amélioration des dispositifs antérieurs mais d'une reconfiguration globale, d'un progrès majeur de la concrétisation.

L'appareil installé auparavant au sein du grand anneau du CERN, le second Large Electron-Positron Collider (LEP2), produisait une collision entre un électron et son antiparticule, le positron. Or, une particule et une antiparticule se comportent de manière inverse quand elles sont soumises à un champ magnétique, ce qui est pratique quand le principe de fonctionnement de la machine consiste à les faire tourner en sens contraire dans le même anneau. Comment obtenir un résultat analogue avec des protons ? Le CERN disposait, certes, de l'expérience acquise avec l'Intersecting Storage Rings (ISR), qui réalisait déjà des collisions proton-proton. Mais, comme son nom l'indique, l'ISR consiste en deux circuits différents s'entrecroisant, dispositif impossible à reproduire à l'identique dans l'anneau du LEP2. La solution adoptée du « deux-en-un » évoque par certains aspects le cas de la turbine Guimbal, qui constitue le paradigme de l'invention selon Simondon. Dans le cas de la turbine-bulbe de l'usine marée-motrice de la Rance, la double contrainte à remplir était de réduire la taille d'une turbine sans que la chaleur produite par son mouvement sous l'effet du courant ne l'endommage : la réduction de la taille et l'impossibilité de maîtriser le débit du courant semblait concourir à rendre la chose impossible. Une optimisation entre ces deux contraintes était vouée à l'échec. La solution consistait à supposer le problème résolu : suffisamment réduite pour être insérée dans la conduite forcée à l'intérieur même du carter, la turbine communique sa chaleur à l'huile qui la transmet à l'eau, si bien que plus l'eau actionne la turbine, plus elle concourt à dissiper la chaleur produite. Sans induire ce type d'autorégulation, la solution des ingénieurs du CERN procède à une intégration analogue du système de contraintes

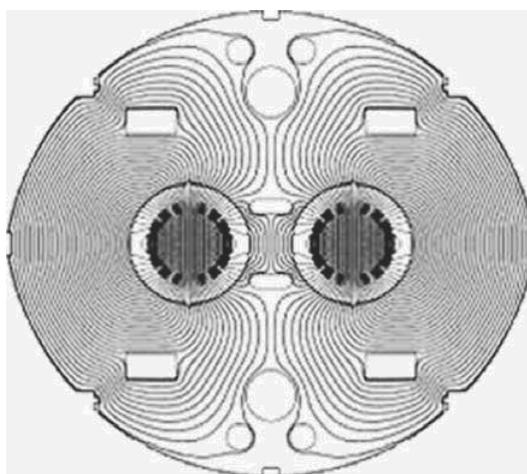


Fig. 2. Structure du champ magnétique à l'intérieur des aimants (plan de coupe).

dans sa structure : la double exigence est de faire transiter deux faisceaux de protons en sens inverse dans le même circuit alors qu'ils doivent être affectés par des champs magnétiques opposés. La solution est obtenue en les faisant circuler tous les deux *à l'intérieur même de l'aimant*, dans deux conduites situées symétriquement de part et d'autres de son centre magnétique de manière à recevoir des effets de champ opposés.

Le circuit constitué par la succession des polarisations n'est pas un « individu », mais un ensemble technologique, c'est-à-dire un dispositif dont les opérations techniques exigent la séparation relative entre différents milieux artificiels et la mise en relation avec des processus situés à des échelles éloignées. Une forge est un exemple d'ensemble au stade artisanal : le four où le métal est chauffé, l'enclume où il est modelé, la trempe où il est refroidi, la roue où il est aiguisé ou poli, sont des milieux associés isolés à travers lesquels l'objet transite durant sa prise de forme technique. La plupart des usines sont des exemples d'ensembles industriels. Les laboratoires reposent aussi sur le principe du cloisonnement des milieux techniques. Le LHC est un ensemble phénoménoteknique où le simple trajet des particules dans l'anneau de 27 kilomètres suppose déjà une succession réglée extrêmement précise de milieux artificiels. Le faisceau de protons se propage dans un tube ultravide où il est soumis à des polarisations magnétiques différentes (produites par des dipôles qui le dévient, des quadrupôles qui le focalisent, et des sextupôles qui empêchent certaines résonances d'apparaître) avant de subir une focalisation finale, par des aimants encore plus puissants, à l'entrée des détecteurs, où se produisent les collisions et la libération des particules élémentaires.

L'accélération des protons résulte, quant à elle, de l'action de cavités accélératrices, situés sur des segments linéaires de son parcours. Le même problème se pose qu'avec la déviation : comment accélérer simultanément des particules de même charge en sens inverse ? La polarité électrique des cavités accélératrices doit alterner à très hautes fréquences de manière à être en phase avec le faisceau qui les traverse. Les éléments qui assurent ce fonctionnement d'ensemble sont eux-mêmes d'une technicité effarante. Les aimants qui guident le double flux des protons sont les plus puissants jamais créés. Ils sont composés de bobines faites d'un câble électrique supraconducteur, c'est-à-dire où le courant se propage sans rencontrer la moindre résistance et donc sans perdre d'énergie. Or, de tels aimants supraconducteurs ne sont réalisables qu'à une température proche du zéro absolu (-271°C soit 1,8 K). Autrement dit, ils requièrent comme milieu technique associé des conditions artificielles extrêmes : ils sont plus froids que l'espace intersidéral. Cela implique un gigantesque système de refroidissement à base d'hélium liquide tout au long des 27 kilomètres de l'accélérateur. On comprend par là-même que les exigences de fonctionnement du LHC fixent un niveau de technicité maximal qui se communique à l'ensemble des éléments qui le compose et exige d'eux le même degré de concrétisation. Cette transduction de la technicité se constate aussi dans le développement accidentel de dispositifs auxiliaires comme la « balle de ping-pong ». Le secteur 7-8 de LHC ayant été refroidi puis réchauffé, les équipes du CERN ont décelé un défaut sur une interconnexion : un module enfichable assurant la continuité électrique de la chambre à vide avait été endommagé par les dilatations et contractions engendrés. Les cryostats de ce secteur ont été rouverts et la radiographie a révélé quatre autres modules défailants. La perspective de renouveler l'opération pour localiser une avarie était inacceptable en raison de sa difficulté et de sa durée :

trois semaines pour ouvrir et cinq pour refermer. La solution a été d'inventer un instrument électronique ayant la forme d'une balle de 34 millimètres de diamètre (d'où son surnom) renfermant un émetteur et que l'on put introduire et faire circuler à l'intérieur des conduites afin de déterminer à quel endroit précis se situait l'élément défectueux.

Le seuil franchi dans la concrétisation par le LHC est tel que les précédentes générations d'accélérateurs collaborent à son fonctionnement comme autant d'étapes préparatoires. Ce réseau l'approvisionne en protons accélérés. Produits par ionisation d'atomes hydrogènes, puis propulsé par un accélérateur linéaire (LINAC), ils circulent ensuite dans une série de synchrotrons, les ancêtres technologiques du LHC, qui les accélèrent progressivement : le synchrotron injecteur du synchrotron à protons (PSB), puis le synchrotron à proton (PS), et le super-synchrotron à proton (SPS).

LA PHÉNOMÉNOTECHNIQUE DU SOLÉNOÏDE COMPACT À MUONS

Si le LHC est un ensemble plutôt qu'un individu, ses détecteurs sont davantage des individus techniques que de simples instruments dans la mesure où ils combinent plusieurs instruments interagissant avec les particules produites lors de la collision. Leur structure est entièrement déterminée en fonction des informations à obtenir sur ces « événements ». Les stratégies diffèrent selon les détecteurs. Il y en a quatre principaux : Solénoïde Compact à Muons (CMS), A Thoroïdal LHC ApparatuS (ATLAS), A Large Ion Collider Experiment (ALICE), le LHCb, et deux autres plus modestes, TOTAL Elastic and diffractive cross section Measurement (TOTEM) et LHCf. Chacun d'eux réclamerait une analyse approfondie, dont nous ne donnerons ici qu'une esquisse en ce qui regarde CMS, que nous avons eu la chance de visiter avant sa mise en service.

CMS est un cylindre hermétique de 22 mètres de long pour 14 mètres de diamètres qui pèse 12 500 tonnes, d'où son nom de « compact », qui fournit une information sur la stratégie adoptée dans ce type de dispositif expérimental : CMS présente une série de couches extrêmement denses autour de son cœur palpitant, afin d'interagir avec les particules libérées lors des collisions, chaque couche constituant une détection pour un type de particules différent ou pour une caractéristique différente de ses particules (spin, masse, impulsion, charge...). En partant du point de collision vers l'extérieur, on trouve, successivement, une couche de silicium représentant 60 millions de détecteurs dont l'activation permettra de calculer la trajectoire des particules chargées au plus près

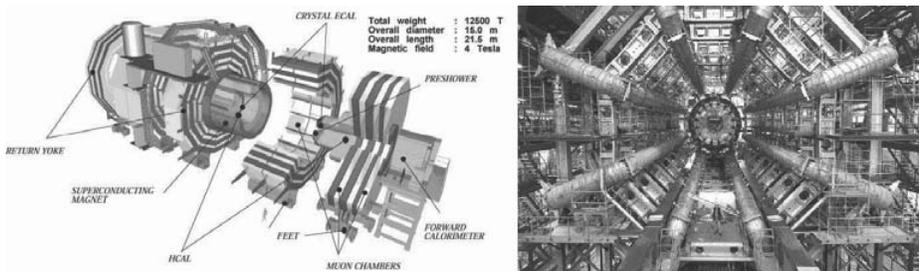


Fig. 3. Schéma écorché de CMS et photographie de sa cavité intérieure.

du point d'interaction ; puis, une couche de 83 000 cristaux transparents de tungstate de plomb formant un calorimètre électromagnétique qui mesure l'énergie de ces particules chargées ; ensuite, une couche très dense, contenant beaucoup de fer, constituant un calorimètre hadronique, c'est-à-dire sensible aux particules qui sont composées de quarks (les protons, les neutrons, les pions et les kaons) ; puis, le solénoïde lui-même, autrement dit le plus gigantesque aimant supraconducteur jamais construit, constitué d'une bobine de 12,5 mètres pour un diamètre interne de 6,3 mètres. Les particules qui émanent de la collision possèdent une vitesse et une énergie telles que pour espérer en courber la trajectoire de manière significative, et obtenir ainsi une information sur leur charge, il est nécessaire de produire un champ d'une intensité de 4 Tesla, c'est-à-dire cent mille fois plus puissant que le champ magnétique terrestre. Enfin, une dernière couche, la plus volumineuse, est constituée par le « système à muons », soit 1 400 chambres à muons situées dans les parties externes du « tonneau » et les « bouchons » de CMS. Elle alterne quatre sous-couches de matériau métallique lourde destinées à « freiner » ce type de particules et quatre sous-couches de chambres remplies de gaz ionisable où l'on peut détecter le passage de leur charge. CMS combine plusieurs phénoméno-techniques : des *trajectographes*, permettant de calculer la trajectoire d'une particule chargée, des *calorimètres*, qui absorbent une part de l'énergie d'une particule pour la mesurer, et des *identificateurs* de particules.

On pourrait analyser son propre processus de concrétisation : CMS s'inscrit dans la lignée technique dont les maillons précédents était le détecteur UA1 installé dans le SPS et le solénoïde CDF actuellement en service au Tevatron. D'ailleurs, l'équipe qui a assuré sa conception et supervisée son installation est en partie issue de celle qui travaillait sur UA1. La même remarque vaudrait pour ATLAS et le détecteur UA2. Les physiciens expérimentateurs portent des traditions de conception instrumentale distinctes qui correspondent à des stratégies d'observation complémentaires : quelles que soient les observations de l'un ou l'autre détecteur, il faudra, pour qu'elles soient probantes, qu'elles soient complétées par celles de l'autre.

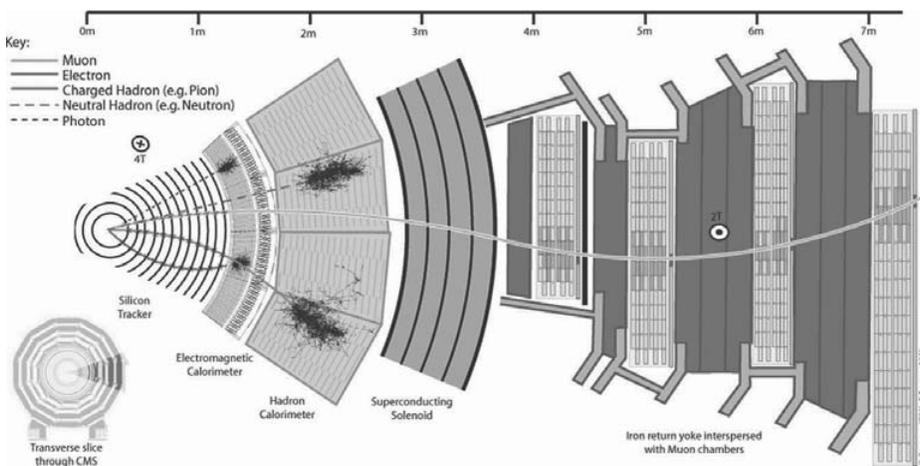


Fig. 4. Les différentes couches phénoméno-techniques de CMS.

La notion d'observation intervient au LHC en aval et non en amont du traitement de l'information, elle est particulièrement contre-intuitive par rapport à ce que l'on entend d'ordinaire par ce terme. On présente souvent la construction du LHC comme motivée par le souhait d'observer le fameux boson de Higgs, qui est la clef de voûte du modèle standard de la physique des particules. Pourtant, il sera tout à fait impossible de faire interagir ce boson avec les détecteurs : étant très instable, cette particule se désintègre en un temps infiniment bref. Ce qui sera éventuellement détecté ce sont les traces des interactions des capteurs avec certaines des particules élémentaires résultant de sa désintégration. Là où l'affaire se complique c'est que l'on ignore la masse du Higgs et, par conséquent, quel type de particules il s'agit de guetter. Grâce au traitement informatique des données recueillies dans les différents détecteurs, il sera possible de calculer les trajectoires de certaines des particules émises. Dans le tracé embrouillé de toutes ces trajectoires, certaines particules n'apparaîtront pas, car elles interagissent trop peu avec la matière : il faudra donc aussi inférer leur existence du bilan énergétique et des bifurcations observées qui impliquent leur émission. Non seulement l'observation du Higgs est indirecte, mais elle ne sera prouvée qu'au terme d'une très longue évaluation statistique : il ne suffira pas d'une observation pour voir le boson, et ce n'est que rétrospectivement que les physiciens pourront exhiber l'image de la « première » détection. C'est pourquoi, en plus de l'énergie transmise aux protons, la seconde grandeur qui caractérise les performances du LHC est ce que les physiciens nomment la « luminosité », à savoir la grandeur qui, multipliée par la section efficace, donne le taux d'interaction. Pour en donner une idée intuitive, on pourrait dire qu'elle mesure la densité des protons qui est multipliée par la précision avec laquelle ils se percutent dedans. Plus la luminosité sera grande, plus rapide sera l'accumulation des données.

Pour accomplir ce traitement statistique des données recueillies par le LHC, les ordinateurs du CERN commencent par sélectionner parmi le nombre incroyable d'événements générés les 10% les plus susceptibles d'apporter les informations recherchées, soit l'équivalent de vingt millions de disques durs par an. Le travail de traitement est ensuite réparti et le CERN a développé pour cela un nouveau réseau informatique : la « grille de calcul » ou GRID, un ensemble de centres de calcul hiérarchisés en trois niveaux, qui permettra de distribuer l'information aux 70 000 ordinateurs des

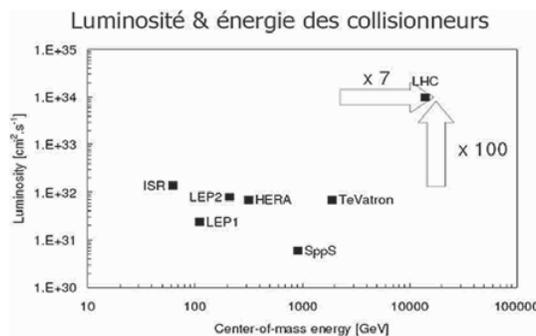


Fig. 5. Le LHC représente un progrès majeur en termes d'énergie et de « luminosité ».

laboratoires associés de par le monde. Là encore on peut faire état d'un progrès d'une lignée technologique puisque c'était déjà le CERN qui avait mis au point le système préfigurateur du Web actuel.

LA LIGNÉE TECHNOLOGIQUE DES ACCÉLÉRATEURS DE PROTONS

Il y a non seulement une cohérence synchronique au niveau de la technicité entre toutes les machines associées au LHC, mais aussi une solidarité diachronique de la succession par rapport aux machines antérieures. Les lignées technologiques progressent en alternant les phases de progrès mineurs et continus et les progrès majeurs et discontinus selon un rythme « qui détermine par sa loi d'évolution en dents de scie les grandes époques de la vie technique. Un tel rythme de relaxation ne trouve son correspondant nulle part ailleurs : le monde humain pas plus que le monde géographique ne peuvent produire d'oscillations de relaxation, avec des accès successifs, des jaillissements de structures nouvelles⁴⁹ ». Une application prometteuse de la mécanique génétique est la mesure de rythmes de relaxation distinctifs, notamment celui de la lignée technologique des accélérateurs de protons qui aboutit au LHC. L'évolution saccadée des performances de cette lignée (où chaque palier correspond à un progrès de la concrétisation) a été soulignée, il y a déjà longtemps, dans l'ouvrage de référence de Stanley Livingston⁵⁰, qui l'a représenté sous forme de diagrammes.

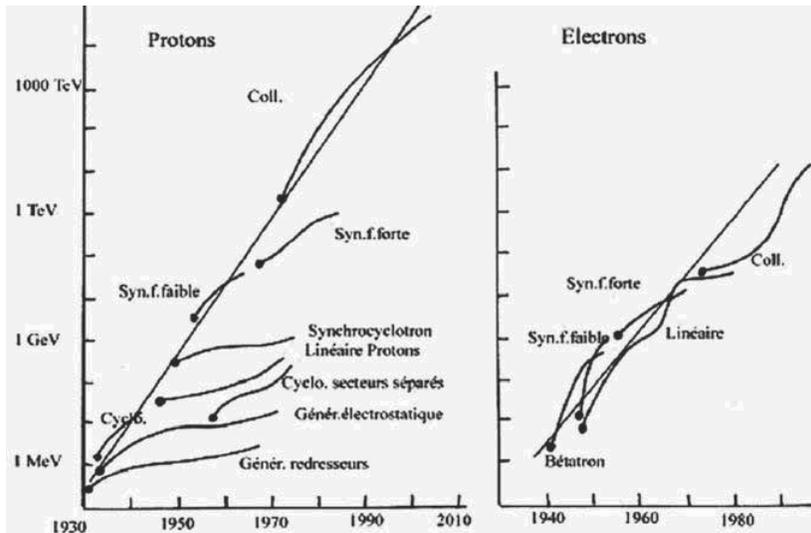


Fig. 6. Les diagrammes de Livingston sur les lignées d'accélérateurs (hypothèse d'une loi logarithmique).

49. SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 67.

50. LIVINGSTON, 1954.

Le décalage temporel entre les deux lignées s'explique par le fait que les accélérateurs de protons ont une vocation exploratoire, celle d'atteindre les plus hautes énergies possibles afin de détecter la trace de nouvelles particules, tandis que la fonction des accélérateurs d'électrons est plus métronomique : ils produisent en masse ces nouvelles particules pour en préciser les caractéristiques. En effet, les protons sont plus massifs, mais comme leurs quarks se répartissent de manière aléatoire l'énergie au moment de la collision, il est impossible de prévoir *a priori* la kyrielle de particules qui en découle. Les électrons, plus légers, sont en revanche des particules élémentaires : on connaît exactement l'énergie des faisceaux qui entrent en collision.

La lignée des accélérateurs de protons possède comme origine le premier cyclotron, un objet « abstrait », encore peu synergique : « [...] le premier cyclotron, qui ne mesurait pas plus de deux pieds, était un assemblage de matériaux que l'on pouvait trouver traînant dans n'importe quel laboratoire de physique : des panneaux de verre, des morceaux de bronze, et de la cire⁵¹. » Les paliers franchis dans la puissance par ces accélérateurs correspondent, par la suite, à des processus de concrétisation repérable, avec réorganisation du dispositif et accès à un nouveau palier d'évolution graduelle. Chaque progrès donne naissance à une nouvelle branche de la famille des accélérateurs. Cette évolution s'accompagne, en outre, d'un processus de concentration des moyens : on passe d'une situation où chaque laboratoire pouvait héberger son propre accélérateur de poche à une situation où l'ensemble de la communauté mondiale des physiciens des particules s'organise autour du seul LHC. Ivan Brissaud et Éric Baron⁵² ont modélisé cette évolution des accélérateurs de protons par une équation log-périodique de la forme $(T_n - T_c) = (T_0 - T_c) \times g^{-n}$ avec pour constante $g = 1,37$ et la date de 1930 comme temps critique (comme origine de la lignée technologique). Cette modélisation permet de rétro-prédire, avec une précision assez satisfaisante, les principaux stades de la concrétisation.

Rang de l'événement	Génération technique	Date rétroprédite	Date observée
-1	Radioactivité alpha		avant 1911
0 (Tc)	Cyclotron	1932	1932
1	Accélérateur linéaire	1946	1946
2	Synchrotron à focalisation faible	1952	1952
3	Synchrotron à focalisation forte	1961	1959
4	Collision « chaud »	1972	1972
5	Aimants cryogéniques	1987	1988
6	Aimants et cavités cryogéniques	2008	2008

51. BAIRD, 2004, p. 59.

52. BRISSAUD et BARON, 2008. Cette modélisation dérive des travaux de Didier Sornette, Laurent Nottale, Jean Chaline et Pierre Grou : SORNETTE, 2004 ; NOTTALE, CHALINE et GROU, 2000.

L'un des enjeux principaux des résultats obtenus au LHC concerne le prolongement de sa lignée : si le LHC ne découvrait que le boson de Higgs, sans fournir aucune information sur la physique située au-delà du modèle standard, il serait difficile pour la communauté scientifique de justifier la construction d'un accélérateur encore plus puissant (encore plus coûteux). Ce scénario du « grand désert » est la hantise des physiciens des particules, car avec l'avenir des grands appareils se joue aussi l'avenir du champ de la physique des particules en tant qu'il n'est pas purement spéculatif. Or, la loi d'évolution de la lignée des accélérateurs de protons, élaborée et mise à l'épreuve à partir de rétroprédications, permet une prospective qui apporte une réponse ambiguë, car positive mais peu encourageante à court terme : elle prédit un stade ultérieur de concrétisation, mais seulement dans trente ans (2037) ! Il faudra peut-être attendre le renouvellement d'une génération de physicien, voire un changement de paradigme scientifique, pour qu'un nouveau type d'accélérateur soit mis en service. Sans exagérer la validité de telles prévisions, le fait est que cette modélisation a le mérite, du point de vue de la mécanique génétique, contrairement à d'autres pseudo-lois⁵³, de reposer sur des critères strictement techniques et non sur l'anticipation des besoins de la compétition économique.

L'investissement dans les grands appareils phénoménotecniques est désintéressé au sens strictement économique du terme : la technicité du LHC vaut pour l'approfondissement de notre connaissance de la nature. Cet aspect mérite d'être souligné en ce qui regarde la puissance symbolique d'une réalisation telle que le LHC. Ainsi, alors que les médias sont particulièrement attentifs à la compétition entre ce projet européen et le TeVatron américain, les physiciens de toutes nationalités peuvent collaborer à l'un et à l'autre en même temps. L'un des traits distinctifs de ces grands appareils producteurs de connaissance est de permettre le dépassement des rivalités géopolitiques : nulle autre collaboration technologique n'opère de façon si œcuménique que l'Iran et Israël y soit impliqués ensemble. De la même manière, si les commentateurs conçoivent aisément le caractère à proprement parler extraordinaire de la construction du LHC, les procédés qui consistent à comparer la taille de ses détecteurs et Notre-Dame ou encore la masse de métal utilisé et le poids de la tour Eiffel n'aident en rien à comprendre en quoi il s'agit d'une réalisation majeure de l'humanité, comparable à certains égards à une merveille du monde contemporain. Mais, en suivant Simondon, on perçoit que cette réalisation pousse à ses limites les possibilités technologiques de notre temps. Le LHC excite l'imagination collective quand nous faisons appel à notre émerveillement face aux profondeurs mystérieuses de la matière. Il est vrai que les aspects psychosociaux de sa philosophie des machines s'avèrent plus probants et plus facile à illustrer dès que les objets techniques circulent dans le monde social, où le LHC ne se laisse transporter que par le jeu des systèmes de représentation.

PSYCHOSOCIOLOGIE DES NANOTECHNOLOGIES

Dans un autre domaine, les nanotechnologies et les nanosciences (NST) sont au cœur des débats sur l'orientation de la recherche scientifique et sur les retombées du progrès

⁵³. Pour une critique de la « loi de Moore » voir http://www.firstmonday.org/issues/issue7_11/tuomi/.

technologique au sein de nos sociétés. On désigne par « nanotechnologies » l'ensemble des travaux visant à caractériser, à manipuler et à comprendre le comportement des objets (atomes et molécules) à une échelle allant du nanomètre (un milliardième de mètre) à quelques centaines de nanomètres⁵⁴. La définition du domaine scientifique en fonction d'un ordre de grandeur lui confère un caractère conventionnel et transversal vis-à-vis des disciplines déjà constituées. Il est investi par des chercheurs qui disposent de méthodes et de modèles théoriques différents et, s'il est souvent fait état d'une convergence à l'échelle du nanomètre, la sociologie de ce domaine récent constate que le champ des NST est, au moins pour l'instant, davantage *multidisciplinaire* que véritablement *interdisciplinaire*⁵⁵ : les physiciens, les chimistes, les biologistes sont réunis sous le label « nano » sans forcément collaborer directement dans leurs recherches. Toutefois, ce ne sont ni les aspects épistémologiques des nanosciences, ni l'analyse sociologique du champ, qui retiendront ici notre attention, mais les enjeux de l'intégration sociale et culturelle des NST.

Une part de la charge symbolique que possèdent les nanotechnologies provient de la fascination qu'exercent les images produites par les microscopes à effet tunnel (STM) ou les microscopes à force atomique (AFM). Ces dispositifs phénoménotecniques sont à la fois instrument et outil puisqu'ils permettent l'observation et la manipulation des objets imperceptibles à nos sens que sont les atomes ou les molécules individuelles. Heinrich Rohrer et Gerd Binnig, inventeurs du STM et prix Nobel de physique en 1986, ont fait « voir les atomes ». Il s'agit, toutefois, d'une *vue de l'esprit*, car ce qui est représenté par l'infographie est une structure de la matière inférieure à la longueur d'onde de la lumière visible. Il est trompeur d'associer les images des nanostructures à une expérience perceptive, surtout lorsqu'on attribue à ces atomes des couleurs et des ombres ! Les microscopes à sonde locale mesurent en fait de très faibles différences de potentiel, représentables par de sobres diagrammes, avant qu'un algorithme informatique ne les traduise en images sur l'écran d'un ordinateur. À tout prendre, s'il fallait comparer l'intuition du réel que nous offrent les STM avec une expérience à notre échelle, il conviendrait de les comparer à celle d'un aveugle lisant du braille : c'est en tâtonnant à l'aide d'une pointe ultrafine que nous accédons à ces échelles. L'esthétique des images des NST associe donc des qualités sensibles inessentiels aux données intelligibles signifiantes.

Si la mise en image des instruments phénoménotecniques produit un réel émerveillement auprès des scientifiques, elle a surtout un impact auprès d'un public non averti, susceptible de les confondre avec la représentation de choses ordinaires ou avec une œuvre artistique. Les images du « nanomonde » produites par les scientifiques échappent à leur contrôle en sortant de leur champ : les revues de vulgarisation scientifique en proposent une interprétation qui peut occulter la complexité de leur production ; certaines images sont parfois exhibées comme des œuvres d'art ; des associations de citoyens leur accordent une charge affective, voire un sens politique. Elles circulent, finalement, sur la toile sans entretenir plus aucun rapport avec le contenu cognitif dont elles étaient investies au sein du champ scientifique. Elles ont changé de statut : ce ne

54. ROCO et BAINBRIDGE, 2002.

55. SCHUMMER, 2004.

sont plus les *traces* intelligibles d'une opération phénoménoteknique mais les *signes* sensibles d'un sens équivoque en fonction des émotions de chacun. Davantage que les images elles-mêmes, ce sont alors les mots employés pour décrire les dispositifs élaborés à l'échelle du nanomètre qui orientent l'imaginaire. Le « nanomonde » est décrit à l'aide d'analogies mécaniques, l'infiniment petit se retrouvant surtout peuplé de « nano-robots », de « nano-machines », de « nano-moteurs », de « nano-tubes »... Popularisé par le livre d'Eric Drexler⁵⁶, le paradigme de la « manipulation atome par atome » présente les nanotechnologies comme la possible transposition des méthodes de l'ingénierie vers l'échelle de nanomètre.

Il ne manque pas de commentateurs avisés pour douter de la pertinence de ces métaphores machiniques et avertir qu'on exagère certainement la connexion entre l'image que véhiculent les discours actuels sur les « nanos » et la réalité des progrès accomplis par la science et la technologie à l'échelle du nanomètre : en-dehors du champ scientifique, le débat porte d'ailleurs davantage sur ce que pourraient devenir les « nanos » que sur ce qu'elles sont, anticipant sur les effets sociaux et les conditions légales de leur diffusion – principe de précaution oblige. Les promesses utopiques du discours futurologique que les anglo-saxons appellent *hype*, comme les scénarios catastrophiques (*anti-hype*) font florès et semblent même avoir joué, à travers l'annonce d'une révolution technologique, un rôle décisif dans l'émergence de la perception des NST, par les décideurs politiques et économiques, comme un ensemble cohérent de recherches voire même comme un « programme métaphysique ». La puissance évocatrice du préfixe « nano » dépasse alors largement l'amplification des résultats, encore modestes, obtenus par les chercheurs. Dans ces conditions, on peut se demander ce qui confère aux « nanos » une telle charge émotionnelle et pourquoi ce qu'il est convenu d'appeler le grand public se montre parfois si réceptif aux spéculations qui les mettent en scène.

Les nanotechnologies ne sont guère évaluées, hors du champ scientifique, en fonction des critères techniques et des valeurs scientifiques. Ce sont des considérations économiques ou utilitaires qui dominent les jugements portés sur les objets techniques. Leur insertion dans la culture, par la commercialisation, relativise l'évaluation technique en lui substituant l'évaluation marchande : des artefacts qui ne trouvent pas acquéreurs sont dévalorisés au point d'être condamnés à la casse sans égard pour le travail humain cristallisé en eux. Sans doute la qualité de ce travail n'est-elle pas sans rapport avec leur devenir sur le marché, mais ce sont avant tout les « halos psychosociaux⁵⁷ » qui déterminent l'aventure des objets techniques en milieu social et culturel.

Les objets qui circulent dans la société sont comme entourés d'un halo psychosocial, c'est-à-dire d'un complexe d'opinions et de motivations qui en redéfinit l'identité en fonction des résonances qu'il fait naître au sein de la culture. Les objets techniques souffrent à ce titre d'une sorte de complexe d'infériorité par rapport aux autres productions culturelles et sont souvent obligés de dissimuler leur nature sous les traits d'anciens dispositifs ou de déguiser leur technicité sous des airs de fausse magie. Pour améliorer les conditions de leur mise sur le marché, une stratégie évidente

56. DREXLER, 1986.

57. SIMONDON, 1960. Voir aussi BONTEMS, 2006b.

pour accroître la désirabilité des objets consiste à amplifier leur halo psychosocial en lui associant diverses images attractives et stimulantes (richesse, réussite sociale, jeunesse, etc.) sans rapport avec leur fonctionnement. L'effet obtenu est l'intensification de leur visibilité, une « brillance », analogue à un *effet de diffusion* qui accroîtrait la taille apparente de l'objet. Cette stratégie promotionnelle atteint sans doute ses fins, mais elle risque aussi de faire naître une saturation : à force de faire briller chacun des objets, on est ébloui par l'ensemble et l'on ne parvient plus à les distinguer dans leur singularité. C'est précisément ce qui arrive dans le cas des « nanos » : tout ce qui est nano est considéré comme éminemment moderne, efficace, et d'une valeur supérieure à ce qui ne l'est pas, mais chaque réalisation se trouve du même coup noyée dans l'ensemble, condamnée à assumer toutes les associations affectives du halo, au risque de brouiller l'identité technique de chaque réalisation, au point que plus personne ne s'y retrouve. En outre, l'amplification du halo par diffusion peut se révéler contreproductive. Tout ce qui est nano est réputé innovant, plus puissant, fantastique (repoussant les limites du réel), mais doit aussi assumer en bloc l'ensemble des composantes du halo, et celui-ci est aussi contaminé par des images inquiétantes : les « nanos » sont réputées indétectables, toxiques, capables de s'auto-reproduire, etc.

Dans ces conditions, il faut s'interroger sur les conséquences de la stratégie d'amplification de l'attention prêtée aux NST par la diffusion du halo des « nanos ». Les effets de diffusion sont des conditionnements relativement frustes et instables. Un autre type d'amplification psychosociale est possible qui ne présenterait pas les inconvénients de la confusion des objets et de l'aveuglement du public. Il s'agirait alors de mettre en valeur la technicité comme solidarité authentique entre les objets. Les ressemblances entre fonctionnements techniques détermineraient les associations entre halos, et l'on pourrait comparer ces résonances affectives à des interférences constructives entre halos à un *effet de dispersion*. Pour être durable, la dispersion doit faire émerger des critères de fiabilité. Au lieu de présenter les nanotechnologies comme un ensemble homogène et indistinct, il s'agirait au contraire d'établir un *spectre de résonances sociales et culturelles* mieux maîtrisées entre les halos de certains types de produits compatibles ou comparables. De cette façon, il serait possible au citoyen d'être rassuré et au consommateur de s'orienter en fonction de l'effet de dispersion des halos.

En proposant cette esquisse de séquences historiques nous entendons suggérer qu'une philosophie des machines, si elle n'est pas une discipline institutionnalisée, à l'autonomie reconnue et aux critères bien établis, n'est pas non plus une pure construction rétrospective : il s'agit d'un projet de recherche aux enjeux historiques récurrents. La réflexion sur les machines n'est pas « neutre » : elle est soumise à des effets de champ dont le plus puissant est sans doute la polarité sociale entre les techniques des ingénieurs et les activités dites spéculatives. Dans tous les pays industrialisés rares sont les individus à pouvoir réunir ensemble ces deux types de compétences.

La trajectoire relativement isolée de Simondon dans la France de l'après-guerre résonne néanmoins à une autre échelle avec les multiples tentatives de théorisation des machines en Europe, aux États-Unis et en URSS. Les deux conflagrations mondiales qui ont scandé le xx^e siècle apparaissent à cet égard comme des libérations d'énergies qui ont dynamisé, pendant des laps de temps finalement assez court, la production savante sur la technologie, et comme des conjonctures de polarisation des traditions

nationales de recherche. Toutefois, l'évolution des lignées phénoménotechniques n'en a pas moins connu des rythmes propres : il y eut en effet trois périodes de réalisation d'accélérateurs de particules : la première, très courte, à partir de 1931, la deuxième dès 1948 et d'une amplitude d'une trentaine d'année, la troisième, depuis 1989 s'achève de nos jours. Ainsi la philosophie des machines est à situer par rapport à plusieurs rythmes historiques de concrétisation, et celui de la phénoménotechnique l'éclaire sous un jour œcuménique tout à fait différent de celui, agonistique, de la technologie militaire – étant entendu qu'en substituant à la machine de guerre l'instrument scientifique, on accorde une moindre importance à la principale composante du développement technologique : l'industrie⁵⁸.

Selon Simondon, le progrès technique n'est pas un moyen d'augmenter les richesses, mais un moyen d'affirmer que « le monde est riche ». L'asservissement politique des machines n'était pas, à ces yeux, le seul fait du national socialisme, mais celui de l'idéologie du rendement en général. Dans son dernier article⁵⁹, il traçait la perspective d'une « éthique du recyclage » : au présent, elle implique de remplacer les technologies polluantes par d'autres ; devant l'avenir, elle suppose de développer le système technologique en tenant en compte la finitude des ressources naturelles, vis-à-vis du passé, elle incite à la récupération des objets obsolètes pour leur conférer une nouvelle vie. Le but de Simondon est que l'humanité réalise enfin l'importance du progrès technique et l'intègre comme une dimension essentielle de la culture. Parce qu'elle reconnaît la dignité des machines, sa philosophie est une philosophie *engagée*. Il faut donc prendre au sérieux l'appel en faveur de l'émancipation des machines sur lequel s'ouvre *Du mode d'existence des objets techniques* :

« La prise de conscience des objets techniques doit être effectuée par la pensée philosophique, qui se trouve avoir à remplir dans cette œuvre un devoir analogue à celui qu'elle a joué pour l'abolition de l'esclavage et l'affirmation de la valeur de la personne humaine⁶⁰. »

Même à travers la réactualisation de ses applications mécanologique ou psychosociologique, la philosophie des machines de Simondon résiste à l'idéologie du rendement. Aujourd'hui, son pouvoir transductif intact, l'ébauche de son amplification à une plus grande échelle, l'intérêt renouvelé de secteurs non académiques sont l'indice que sa formulation des enjeux technologiques est à l'horizon de notre temps. En définissant des critères de progrès dans la perspective de la coévolution de l'homme et des machines, ses réflexions échappent à l'aveuglement théorique des partisans de la fuite en avant comme des contempteurs de la technique.

58. Pour aller plus loin quant à ces rythmes industriels et à leurs effets, il conviendrait d'examiner la manière dont l'œuvre de Simondon est mobilisée dans des écrits technologiques récents dont le spectre s'étend de l'histoire philosophique des techniques aux méthodologies de conceptions, notamment AIT-EL-HADI, 2002 ; CAVALLUCCI et ROUSSELOT, 2007 ; DEFORGE, 1989 ; GOFFI, 1988 ; MAUNOURY, 1968. Ces auteurs en effet reconnaissent tous la valeur des travaux de Simondon, mais soulignent qu'ils sont irréductibles à une méthodologie opératoire.

59. SIMONDON, 1983.

60. SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 9.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- ABRAGAM (Anatole), 1987, *De la physique avant toute chose*, Paris, Odile Jacob.
- AIT-EL-HADJ (Smaïl), 2002, *Systèmes technologiques et innovation*, Paris, L'Harmattan.
- BACHELARD (Gaston), 1934, *Le Nouvel Esprit scientifique*, Paris, Presses universitaires de France.
- BAIRD (Davis), 2004, *Thing Knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments*, Berkeley, University of California Press.
- BARTHÉLÉMY (Jean Hugues), 2005, *Penser la connaissance et la technique après Simondon*, Paris, L'Harmattan.
- BECKMANN (Johannes), 1806, *Entwurf der allgemeinen Technologie*, Göttingen, Rower.
- BONTEMS (Vincent), 2006a, « Encyclopédisme et crise de la culture », *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, vol. 131, n° 3, p. 311-324.
- BONTEMS (V.), 2006b, « Aura artistique et halo technique : le cas de l'objet surréaliste », *Alliage*, n° 59, p. 64-76.
- BOURDIEU (Pierre), 1997, *Les Méditations pascaliennes*, Paris, Le Seuil.
- BRISAUD (Ivan) et BARON (Éric), 2008, « La course des accélérateurs de particules vers les hautes énergies et la log-périodicité », *Cybergeos*, 28 avril, <http://www.cybergeos.eu/index14173.html>.
- CAVALLUCCI (Denis) et ROUSSELOT (François), 2007, « Evolution Hypothesis as a Means for Linking System Parameters and Laws of Engineering System Evolution », dans GUNDLACH (Carsten), dir., *Current Scientific and Industrial Reality. Proceedings of the TRIZ-Future Conference 2007*, Kassel, Kassel University Press (http://www.inventive-design.net/component?option=com_shared_private_space/task,showfile/fileid,181/).
- CHRISTIAN (Gérard Joseph), 1819, *Vues sur le système général des opérations industrielles ou Plan de technonomie*, Paris, Huzard et Courcier.
- COMBES (Muriel), 1999, *Simondon, individu et collectivité*, Paris, Presses universitaires de France.
- COMBES (M.), 2006, « Tentative d'ouverture d'une boîte noire. Ce que renferme la "question de la technique" », dans VAYSSE (Jean-Marie), dir., *Technique, monde, individuation. Heidegger, Simondon, Deleuze*, Hildesheim, Georg Olms, p. 75-98.
- CORIOLIS (Gaspard Gustave de), 1829, *Du calcul de l'effet des machines*, Paris, Carilian-Goeury.
- COUFFIGNAL (Louis), dir., 1965, *Le Concept d'information dans les sciences contemporaines*, Paris, Minuit.
- CURIEN (Hubert), 1994, « Discours d'ouverture », dans CHÂTELET (Gilles), dir., *Gilbert Simondon. Une pensée de l'individuation et des techniques*, Paris, Albin Michel, p. 11-15.
- DEFORGE (Yves), 1989, « Simondon et les questions vives de l'actualité », dans SIMONDON, 1958, ici 1969, p. 267-333.
- DESSAUER (Friedrich), 1927, *Philosophie der Technik. Das Problem der Realisierung*, Bonn, Cohen.
- DIESEL (Eugen), 1931, *Germany and the Germans*, Londres, Macmillan.
- DIESEL (E.), 1939, *Das Phänomen der Technik*, Leipzig, Reclam.
- DREXLER (Eric), 1986, *Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology*, New York, Anchor Books.
- DUCASSÉ (Pierre), 1958, *Les Techniques et le philosophe*, Paris, Presses universitaires de France.
- ENGELHARDT (Viktor), 1922, *Weltanschauung und Technik*, Leipzig, Meiner.

- ESPINAS (Alfred), 1897, *Les Origines de la technologie*, Paris, Alcan.
- GOFFI (Jean-Yves), 1988, *La Philosophie de la technique*, Paris, Presses universitaires de France.
- GRANGER (Gilles Gaston), 1961, « Compte-rendu de *Du mode d'existence des objets techniques* », *Le Progrès, Cahiers de l'Institut de science économique appliquée*, n° 110, cité par HART, 1969.
- HACHETTE (Jean Nicolas Pierre), 1811, *Traité des machines*, Paris, Klostermann.
- HART (John), 1969, « Préface », dans SIMONDON, 1958, ici 1969, p. I-XIV.
- HERF (Jeffrey), 1984, « The Engineer as Ideologue. Reactionary Modernists in Weimar and Nazi Germany », *Journal of Contemporary History*, vol. 9, n° 4, p. 631-648.
- HOTTOIS (Gilbert), 1993, *G. Simondon et la philosophie de la « culture technique »*, Bruxelles, De Boeck Université.
- KAPP (Ernst), 1877, *Grundlinien einer Philosophie der Technik. Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten*, Braunschweig, Westermann Verlag.
- LAFITTE (Jacques), 1932, *Réflexions sur la science des machines*, Paris, Bloud & Gay.
- LALANNE (Léon), 1840, *Essai philosophique sur la technologie*, Paris, Bourgogne et Martient.
- LARUELLE (François), 1992, « Gilbert Simondon », dans JACOB (André), dir., *L'Encyclopédie philosophique*, Paris, Presse universitaire de France, t. III, p. 3739.
- LIVINGSTON (Stanley), 1954, *High-Energy Accelerators*, New York, Interscience Publishers.
- MAUNOURY (Jean-Louis), 1968, *La Genèse des innovations*, Paris, Presses universitaires de France.
- NOTTALE (Laurent), CHALINE (Jean) et GROU (Pierre), 2000, *Les Arbres de l'évolution*, Paris, Hachette.
- PACOTTE (Julien), 1931, *La Pensée technique*, Paris, Alcan.
- PACOTTE (J.), 1933, « Esprit et technique », *Revue de synthèse*, t. VI, n° 2, p. 129-142.
- REULEAUX (Franz), 1877, *Cinématique. Principes fondamentaux d'une théorie générale des machines*, Paris, Savy.
- ROCO (Mihail) et BAINBRIDGE (William), 2002, *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Arlington, Report of The National Science Foundation.
- SCHRÖTER (Manfred), 1934, *Die Philosophie der Technik*, Munich, Oldenbourg.
- SCHUMMER (Joachim), 2004, « Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Patterns of Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology », *Scientometrics*, vol. 59, n° 3, p. 425-465.
- SIMONDON (Gilbert), 1958, *Du mode d'existence des objets techniques*, 1^{re} éd. Paris, Aubier, 2^e éd. avec une préface de John HART, Paris, Aubier, 1969.
- SIMONDON (G.), 1960, « Psychosociologie de la technicité. Aspects psychosociaux de la genèse de l'objet d'usage », *Bulletin de l'École pratique de psychologie et de pédagogie de Lyon*, vol. XV, n° 2, p. 127-140.
- SIMONDON (G.), 1964, *L'Individu et sa genèse physico-biologique. L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, Paris, Presses universitaires de France.
- SIMONDON (G.), 1975, *L'Homme et l'objet*, texte inédit.
- SIMONDON (G.), 1980, *On the Mode of Existence of Technical Objects*, trad. Ninian MELLAMPHY, Londres, University of Western Ontario.
- SIMONDON (G.), 1983, « Trois perspectives pour une réflexion sur l'éthique de la technique », dans HOTTOIS (Gilbert), dir., *Éthique et technique*, Bruxelles/Paris, Éditions de l'université de Bruxelles/Vrin, p. 107-118.

- SIMONDON (G.), 1992, « The Genesis of the Individual », trad. Jonathan CRARY et Sanford KWINTER, dans *Incorporations*, New York, Zone Books, p. 297-319.
- SIMONDON (G.), 2001, *L'Individuazione psichica e collettiva*, trad. Paolo VIRNO, Rome, Derive Approdi.
- SIMONDON (G.), 2005, *L'Invention dans les techniques. Cours et conférences*, Paris, Le Seuil.
- SIMONDON (G.), 2006, *L'Individuation psychique et collective à la lumière des notions de formes et d'information*, Paris, Millon.
- SORNETTE (Didier), 2004, *Why Stock Markets Crash: Critical Events in Complex Financial Systems*, Princeton, Princeton University Press.
- SPENGLER (Oswald), 1969, *L'Homme et la technique*, trad. Anatole A. PETROWSKY, Paris, Gallimard.
- TUOMI (Ikka), 2002, « The Lives and Death of Moore's Law », *First Monday*, vol. VII, n. 11, 4 november, <http://www.firstmonday.org>.
- WENDT (Ulrich), 1966, *Die Technik als Kulturmacht in sozialer und geistiger Beziehung*, Berlin, Reimer.
- ZSCHIMMER (Eberhard), 1914, *Philosophie des Technik: vom Sinn des Technik und Kritik des Unsinn über die Technik*, Jena, Diederichs.



HAL
open science

La mécanologie : une lignée technologique francophone ?

Yohann Guffroy, Vincent Bontems

► **To cite this version:**

Yohann Guffroy, Vincent Bontems. La mécanologie : une lignée technologique francophone ?. *Artefact : techniques, histoire et sciences humaines*, 2018, 8, pp.255-280. 10.4000/artefact.2218. hal-03176602

HAL Id: hal-03176602

<https://hal.science/hal-03176602>

Submitted on 22 Mar 2021

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives | 4.0 International License



Artefact

Techniques, histoire et sciences humaines

8 | 2018

Aperçus sur les recherches en histoire des techniques sur la Chine

La mécanologie : une lignée technologique francophone ?

The “mécanologie”: a French technological lineage?

Yohann Guffroy et Vincent Bontems



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/artefact/2218>

DOI : 10.4000/artefact.2218

ISSN : 2606-9245

Éditeur :

Association Artefact. Techniques histoire et sciences humaines, Presses universitaires du Midi

Édition imprimée

Date de publication : 6 décembre 2018

Pagination : 255-280

ISBN : 978-2-8107-0595-5

ISSN : 2273-0753

Référence électronique

Yohann Guffroy et Vincent Bontems, « La mécanologie : une lignée technologique francophone ? », *Artefact* [En ligne], 8 | 2018, mis en ligne le 21 juin 2019, consulté le 27 novembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/artefact/2218> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/artefact.2218>



Artefact, *Techniques, histoire et sciences humaines* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

La mécanologie : une lignée technologique francophone ?

Yohann Guffroy et Vincent Bontems

Résumé

L'objet de cet article est de retracer la généalogie de la « mécanologie » ou « science des machines ». Trois périodes sont considérées : de la publication des *Réflexions sur la science des machines* de Jacques Lafitte, en 1932, à la publication de la thèse complémentaire de Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, en 1958 ; puis de 1968, date à laquelle Jean Le Moyne apprend l'existence de Lafitte à Simondon, à 1976, date du second et dernier colloque de mécanologie à Paris ; enfin, de 1976 à la fin du xx^e siècle, pour observer la manière dont différents continuateurs se sont emparés de certains éléments théoriques mis en avant par Lafitte et Simondon, notamment de la notion de « lignée technique » et de la visée « génétique » qui lui est associée. En conclusion, on fera valoir que la mécanologie constitue une proposition méthodologique originale dans le champ des études technologiques.

255 —

Mots-clés

Lafitte, Le Moyne, lignée technique, mécanologie, Simondon, technologie

The “mécanologie”: a French technological lineage?

Abstract

The purpose of this article is to recover the genealogy of “la mécanologie”, *id est* the “science of machines”. Three periods are considered: from the publication of *Reflections on the Science of Machines* by Jacques Lafitte, in 1932, to the publication of Gilbert Simondon’s complementary thesis, *On the Mode of Existence of Technical Objects*, in 1958; then from 1968, when Simondon learned of Lafitte’s existence from Jean Le Moyne, to 1976, the date of the second and last symposium of mechanology in Paris; finally, from 1976 to the end of the 20th century, to observe how different continuators have seized on certain theoretical elements put forward by Lafitte and Simondon, notably the notion of “technical lineage” and the “genetic approach” that is associated with it. In conclusion, it will be argued that la mechanology is an original methodological proposition in the field of technological studies.

Keywords

Lafitte, Le Moyne, mechanology, Simondon, technical lineage, technology

« Il est très réconfortant, au contraire, que plusieurs personnes de pays différents, de cultures variées, ayant étudié les mêmes objets et leur histoire identique, arrivent finalement à des conclusions convergentes. »

Gilbert Simondon, *Entretien sur la mécanologie*

Cet article vise à retracer une généalogie de la « mécanologie ». Ce terme fut employé pour la première fois par l'ingénieur Jacques Lafitte, en 1932, pour désigner la « science des machines »¹. Il est généralement aussi associé au nom du philosophe Gilbert Simondon. Il s'agit pour nous de mesurer jusqu'à quel point cette dénomination renvoie à une tradition de recherche cohérente et persistante au xx^e siècle dans l'horizon francophone², mais aussi de préciser les contours que peut prendre, dans le champ des études technologiques actuelles, la mécanologie en tant que proposition méthodologique originale. Bien que d'autres chercheurs s'intéressent déjà à retracer la généalogie de la mécanologie, en particulier Mark Hayward et Ghislain Thibault³, il nous semble que notre essai de synthèse comble une lacune de l'histoire de la technologie en problématisant l'existence même de cette lignée en fonction de l'horizon historique considéré. Nous estimons en effet que les études précédentes ayant abordé la question de la portée du projet mécanologique l'ont fait avec des présupposés théoriques qui étaient sans doute inhérents à leur échelle d'objectivation.

Dans les *Systèmes technologiques et innovations : Itinéraire théorique*⁴, Smaïl Aït-El-Hadj définit la technologie comme « d'une part, l'ensemble des

1. Jacques LAFITTE, *Réflexions sur la science des machines*, Paris, Vrin, 1972 (1932).

2. La mécanologie possède quelques développements au Canada, mais il s'agit d'un projet globalement inconnu jusqu'à récemment dans l'horizon anglophone. Pour preuve, un ouvrage de référence (*textbook*) assez récent tel que le *Companion to the Philosophy of Technology* (Jan K. B. OLSEN, Stig A. PEDERSEN, Vincent F. HENDRICKS (dir.), Hoboken, Wiley-Blackwell, 2009) ne fait aucune référence ni à la mécanologie, ni à Lafitte, ni à Simondon.

3. Les chercheurs canadiens Mark Hayward et Ghislain Thibault dirigent un programme de recherche intitulé « Recovering/retracing la mécanologie » et ont publié de nombreux articles. Voir leur site : <http://mecanologie.ca/>.

4. Smaïl AÏT-EL-HADJ, *Systèmes technologiques et innovation, itinéraire théorique*, Paris, L'Harmattan, 2002, p. 9.

savoirs et des modes de connaissance concernant la Technique [...] et d'autre part, la construction des "lois" concernant l'ensemble de l'activité technique⁵ ». Son étude retrace à grands traits l'évolution de cette pensée technologique duale, remontant pour cela au XII^e siècle, où il détecte l'apparition de l'« embryon d'une "technologie", avec le souci de la codification du savoir d'artisan et l'avancée dans la formalisation de techniques qui, unitairement, ne suffisaient plus aux nécessités techniques de l'époque⁶ ». Poursuivant son enquête au fil des siècles, il caractérise pour chaque période les efforts théoriques de conceptualisation de la technique, envisageant tour à tour le mouvement encyclopédique français, la Technologie générale allemande, la Cinématique, la Technonomie ainsi que la Mécanologie de Jacques Lafitte⁷, dont il souligne la spécificité épistémologique et indique qu'elle annonce l'œuvre de Simondon : « [Lafitte] a ainsi l'intuition de ce que G. Simondon considère être le moteur central de la dynamique des "objets techniques". »⁸ La mention de cette filiation prépare le dépassement, au dernier chapitre, du dualisme entre les points de vue pratique et théorique au profit « d'une technologie conçue comme l'organisation du monde des artefacts techniques qui possède ses lois de composition et de mouvements propres⁹ ». Aït-El-Hadj enrôle alors Simondon au service de l'élaboration d'une conception systémique de la technologie, dont la mécanologie constitue un jalon, certes insuffisant, mais indispensable à considérer dans une perspective historique réflexive.

Dans son article « L'impossible constitution d'une théorie générale des machines ? La cybernétique dans la France des années 1950 »¹⁰, Ronan Le Roux se propose, quant à lui, d'étudier, à une échelle différente, les tentatives de convergences de trois projets de théorie des machines autour de la cybernétique : la mécanologie de Lafitte, « l'analyse mécanique » de Louis Couffignal (1938) et la théorie algébrique des machines de Jacques Riguet (début des années 1950). D'après lui, la cybernétique dut « apparaître comme le vecteur d'intégration maximale de traditions de pensée

5. *Ibid.*, p. 11.

6. *Ibid.*, p. 13.

7. Jacques LAFITTE, *op. cit.*

8. Smaïl AÏT-EL-HADJ, *op. cit.*, p. 77.

9. *Ibid.*, p. 12.

10. Ronan LE ROUX, « L'impossible constitution d'une théorie générale des machines ? La cybernétique dans la France des années 1950 », *Revue de Synthèse*, t. 130, 6^e série, n° 1, 2009, p. 5-36.

naturalistes et formalistes¹¹ » qu'exprimaient ces projets (Lafitte étant rangé parmi les naturalistes). Constatant l'échec de cette convergence, il met en avant une incompatibilité théorique grevant la possibilité d'une généralisation de la notion de machine. Il relève ainsi une différence fondamentale dans leurs conceptions de l'évolution des machines (Lafitte considérant qu'elles iront en se complexifiant quand Wiener estime que les plus complexes seront éliminées) et l'absence de formalisme unificateur¹². Ce dernier point questionne la recherche même d'une théorie générale des machines : peut-il seulement exister un formalisme transhistorique pour analyser et classer les machines ? Le Roux se demande si « une théorie axiomatisée implique que les différentes formes machiniques apparaissant au cours du temps ne soient que les manifestations d'une combinatoire intemporelle ? » Corrigeant un propos d'Aït-El-Hadj sur la cybernétique comme permettant un « retour sur la modélisation de toutes les machines¹³ », il y voit plus modestement une possibilité de convergence des axes naturaliste et formaliste sans que cela fonde la possibilité d'une théorie générale.

Suivant que l'historien mette en avant la récurrence des tentatives de conceptualisation de la technique sur le long terme, ou qu'il observe la divergence des projets sur le court terme, la mécanologie apparaît soit comme une étape dans un lent processus cumulatif, soit comme le projet avorté d'un individu isolé. La juxtaposition de ces deux points de vue sur le programme mécanologique et leur désaccord quant à sa portée générale invitent à étudier les relations de contemporanéité relative¹⁴ qui peuvent

11. *Ibid.*, p. 7.

12. *Ibid.*, p. 33-34.

13. Smaïl AÏT-EL-HADJ, *op. cit.*, p. 88.

14. La contemporanéité relative est définie par Erwin Panofsky à partir de la distinction entre la simultanéité chronologique de deux événements et leur contemporanéité historique (l'appartenance au même horizon de sens). Panofsky l'introduit après avoir évoqué les cas extrêmes de la coïncidence et de l'incommensurabilité entre les temps chronologiques et historiques : « Quant aux cas situés entre ces deux extrêmes, on peut continuer à leur appliquer le concept de contemporanéité historique. Il faut seulement le relativiser, car il n'y a plus de convergence de deux ou plusieurs phénomènes individuels en un point du temps naturel mais seulement coïncidence de deux ou plusieurs "systèmes de références" sur un vecteur temporel, plus ou moins grand selon l'étendue des rapports dans leur ensemble, cette coïncidence produisant quelque chose comme une "région" de contemporanéité historique. », Erwin PANOFSKY, « Le problème du temps historique », in *La perspective comme forme symbolique*, Paris, Éditions de Minuit, 1976, p. 231. La notion est développée et appliquée à l'histoire des sciences et des techniques dans Vincent BONTEMS, « Causalité historique et contemporanéité relative. De la relativité einsteinienne aux sciences historiques », *Revue de Synthèse*, n° 1, 2014, p. 71-89.

être établies entre Lafitte et Simondon en fonction des différentes phases de développement de la mécanologie. Trois périodes doivent, selon nous, être considérées. La première s'étend de la publication des *Réflexions sur la science des machines* (1932) de Lafitte à celle de la thèse complémentaire de Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques* (1958). Ces deux tentatives de théorisation indépendantes – Simondon ne semblant alors pas avoir eu connaissance des travaux de Lafitte – présentent des similarités si frappantes que leurs lecteurs ont pu supposer une filiation¹⁵. La deuxième serait celle de la convergence autour de la mécanologie avec l'intégration par Simondon, dans son cours « L'invention et le développement des techniques » (1968-1969), d'éléments théoriques tirés de Lafitte et sa participation à deux colloques ayant pour thème la mécanologie au Centre culturel canadien de Paris en 1971 et 1976. Un personnage clef de cette période est l'écrivain canadien Jean Le Moyne, grand promoteur de la « mécanologie », qui fit connaître l'œuvre de Lafitte à Simondon et fut aussi à l'origine des colloques de mécanologie placés sous l'égide de Lafitte et auxquels participa Simondon. Enfin, la troisième période, postérieure à 1976, permet d'observer l'essoufflement des efforts d'institutionnalisation de la « mécanologie » mais aussi la manière dont différents acteurs, notamment Yves Deforge, se sont emparés d'éléments théoriques mis en avant par Lafitte et Simondon (en particulier la notion de « lignée technique » et la visée « génétique » qui lui est associée) pour élaborer des méthodes à visée opératoire.

Les fondateurs : Lafitte et Simondon

Deux noms sont généralement associés à ce que l'on appelle la *mécanologie*, c'est-à-dire la « science des machines ». Le premier est Jacques Lafitte (1884-1966) qui introduisit le terme dans un ouvrage publié en 1932

15. En 1989, Yves Deforge estimait que lorsque « Simondon publie son *Mode d'existence* il hésite entre technologie et mécanologie (en hommage à Lafitte) » (« Postface » in Gilbert SIMONDON, *Du Mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 1989 [1958], p. 278). Il est suivi en cela par Jean-Yves Château dans un article de 1994, « La technique. Genèse et concrétisation des objets techniques dans *Du mode d'existence des objets techniques* de Gilbert Simondon » dans *Philopsis* : <http://www.philopsis.fr> (mis en ligne le 27 décembre 2010, consulté le 4 juillet 2018), et Andrew Iliadis dans son étude de la mécanologie : «Mechanology: Machine Typologies and the Birth of Philosophy of Technology in France (1932-1958)», *Systema: connecting Matter, Life, Culture and Technology*, n° 1, 2015, p. 132-144.

intitulé *Réflexions sur la science des machines*. Nous savons peu de choses sur l'auteur, si ce n'est qu'il a été ingénieur et architecte et qu'il s'est interrogé très tôt, dès 1905, sur la place des machines dans la société¹⁶. Pour justifier la nécessité de son entreprise, Lafitte relate en introduction une scène vécue avec l'un de ses amis. Alors que l'auteur lui fait écouter de la musique via un phonographe, son ami s'écrie :

« Non, dit-il, non, et encore non. Je ne puis, décidément, souffrir cette sorte de musique qui nous est maintenant distribuée. [...] Vous ne savez qu'inventer pour nous prendre, chaque jour davantage dans le réseau de l'artifice. Avec votre science, vos progrès, vos machines, vous allez détruisant, un peu plus chaque jour, de ce qu'il reste de simplicité dans le monde. [...] Soumis à la machine nous subissons l'étroit assujettissement aux produits de notre propre création. Ilores ivres déjà, pour beaucoup d'entre nous, au dire de Duhamel, tous nous finirons dans l'esclavage¹⁷.

Ce passage illustre ce à quoi souhaite répondre Lafitte à travers son texte : une technophobie reposant sur l'incompréhension de la technique par la société, mais aussi par les ingénieurs eux-mêmes. En effet, les *Réflexions* s'adressent aussi à ceux qui conçoivent les machines, cherchant à les alerter sur l'absence de cadre formel pour penser leur activité. Il signale ainsi que, lors d'une conférence qu'il donna en 1911, « les techniciens qui [l']écoutaient marquaient une sorte de détachement pour des vues dans lesquelles ils ne voyaient qu'un jeu d'esprit sans aucune application immédiate à leur labeur quotidien de création¹⁸ ». Il attribue cette indifférence à un manque d'esprit de synthèse. Les ingénieurs ne sachant pas concilier la conception de la machine et la réflexion sur leur travail¹⁹, la mécanologie doit assumer cette fonction réflexive. Elle est à distinguer, à la fois, de *l'art*, qui inspire l'homme lors de la conception physique de l'objet, et de la

16. Jacques LAFITTE, *op. cit.*, p. 17. Dans la préface de cette édition, Jacques Guillerme note que les manuscrits de Lafitte de 1911 et 1919 attestent qu'il mûrissait déjà une réflexion sur la classification des machines (Voir p. iii).

17. *Ibid.*, p. 11.

18. *Ibid.*, p. 18.

19. Jacques Lafitte, « Sur la science des machines », *Revue de Synthèse*, t. 6, n° 10, 1933, p. 143-158, p. 145. En ligne sur Gallica : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k101631q?rk=107296;4> (consulté le 15 mars 2018).

« mécanographie », qui est la « science descriptive des machines » s'intéressant à leur description, leur classification et leur histoire²⁰.

La mécanologie est donc la science normative des machines, celle qui décrit les lois d'évolutions de ces dernières et qui se pose « le problème même de leur existence²¹ ». Lafitte établit à cette fin une classification des machines selon qu'elles sont « passives », « actives » ou « réflexes ». Les machines dites *passives* sont « organiquement indépendantes des flux extérieurs » comme les œuvres architecturales, les ponts, les poteaux, etc²². À l'inverse, les machines *actives* transforment l'énergie qu'elles reçoivent et « doivent leur propriété à l'existence, dans leur organisation, de systèmes d'organes, ou d'organes différenciés, ou de formes élaborées, permettant la réception du flux extérieur, sa transformation, et la transmission de ses effets²³ » comme le fait typiquement un moteur. Enfin, les machines *réflexes* ont un degré supérieur d'organisation par rapport aux machines actives dans la mesure où, en plus de transformer un flux d'énergie, elles s'autorégulent grâce à un mécanisme de rétroaction, Lafitte devançant sur ce point la cybernétique des années 1950 alors qu'il ne dispose, à son époque, comme unique exemple, que de la torpille automatique corrigeant sa trajectoire en fonction des déplacements de sa cible. Ces trois types forment, selon l'auteur, une série qui suit une évolution chronologique, formant progressivement et en plusieurs étapes, des « lignées techniques » progressant de la machine passive jusqu'à la machine réflexe : « Si je considère, dans la série mécanologique, une lignée particulière aboutissant à un type bien défini, j'observe que cette lignée présente, dans son ensemble, l'ordre montré dans la série entière. »²⁴ Ainsi au bois flotteur (passif) a succédé le canoë (actif), puis la torpille autoguidée (réflexe). Toutefois, il ne faudrait pas considérer qu'un type de machine en remplace toujours un autre. Il y a, certes, une succession mais ces types existent néanmoins parallèlement, la société étant organisée sur ces trois piliers. À travers son livre et un article publié un an plus tard, en 1933, dans la *Revue de Synthèse*²⁵, Lafitte souligne, d'ailleurs, sa

20. *Idem.*

21. *Ibid.*, p. 33.

22. *Ibid.*, p. 70.

23. *Ibid.*, p. 69.

24. *Idem.*

25. Voir *supra*.

conviction que la mécanologie relève des sciences sociologiques²⁶ quoique ses catégories soient établies par analogie avec la biologie²⁷.

Ses publications reçoivent peu d'échos en France. Lafitte devra attendre les années 1950 pour exposer son programme disciplinaire au Cercle d'Études de Cybernétique (CECyb) fondé en 1949 par Robert Vallée. Plusieurs scientifiques et philosophes de renom font partie de ce groupe, dont Louis de Broglie, Pierre Ducassé, Louis Couffignal et Jacques Riguet. Norbert Wiener s'y joignit deux fois²⁸. Dans son article sur ce Cercle et à la suite de son travail documentaire auprès de Robert Vallée, Ronan Le Roux souligne que Lafitte a déjà 66 ans lorsqu'il est invité à y discuter ses théories élaborées au début du siècle. Il exprime d'ailleurs ses craintes à Vallée dans une lettre : « Au reste, je ne suis pas sans éprouver une certaine appréhension à la pensée qu'il me faut rentrer en lice après vingt ans de silence et de retraite intellectuelle, vingt ans durant lesquels j'ai poursuivi des tâches assez éloignées, en apparence, de mes recherches. »²⁹ Il publie en outre un article dans la revue *Structure et Évolution des Techniques* (SET) : « Responsabilités dans la construction : esquisse d'une méthode générale pour leur analyse ; Étude d'un cas concret »³⁰. Néanmoins, en dépit du caractère précurseur des travaux de Lafitte par rapport aux analyses du *feedback* par Wiener, ses travaux ne semblent pas avoir suscité de nouveaux développements de la part des autres membres du CECyb ou des lecteurs de SET³¹.

Rétrospectivement, il est tentant de dater le renouveau de l'intérêt pour la mécanologie de la publication de *Du Mode d'existence des objets techniques* (1958), la thèse complémentaire de Simondon attirant en effet l'attention³² et apparaissant comme le prolongement de la pensée de Lafitte

26. Jacques LAFITTE, « Sur la science des machines », art. cit., p. 145.

27. « La possibilité reconnue d'employer pour les machines, et pour la même façon que pour les êtres vivants, le langage de l'organisation [...] et de l'hérédité », Jacques LAFITTE, *op. cit.*, p. 107, relevé par Ronan LE ROUX, art. cit., p. 9.

28. *Ibid.*, p. 26.

29. Lettre de Lafitte à Vallée, 23 novembre 1952 (archives privées Robert Vallée), citée par Ronan LE ROUX, art. cit., p. 27.

30. Voir Ronan LE ROUX, « Pierre Ducassé et la revue *Structure et Évolution des Techniques* (1948-1964) », *Documents pour l'histoire des techniques*, n° 20, 2011, p. 119-134.

31. Notons que Lafitte publiera encore un article en février 1963 dans la revue belge *Industrie* sur « Theilhard de Chardin et le machinisme » sans obtenir davantage d'échos.

32. Pour une étude de sa réception, voir Vincent BONTEMS, « Actualité d'une philosophie des machines. Gilbert Simondon, les Hadrons et les Nanotechnologies », *Revue de Synthèse*, n° 1, 2009, p. 37-66.

à de nombreux lecteurs³³. Les deux œuvres présentent, il est vrai, des similitudes frappantes. Par son étude des objets techniques, Simondon entend « montrer que la culture ignore dans la réalité technique une réalité humaine, et que, pour jouer son rôle complet, la culture doit incorporer les êtres techniques sous forme de connaissance et de sens des valeurs³⁴ ». Ce programme est très proche de celui de Lafitte. En outre, Simondon utilise le terme de *mécanologie* pour faire référence au scientifique qui analyse « la nature des machines, leurs relations mutuelles et leurs relations avec l'homme, [ainsi que les] valeurs impliquées dans ces relations³⁵ ». Il affirme sa complémentarité avec le « psychologue ou sociologue » des machines. Selon Giovanni Carrozzini, il existe « un lien étroit entre psychologie, sociologie et mécanologie, du fait que ces disciplines collaborent et travaillent pour aider l'homme à comprendre et à connaître les techniques et leurs manifestations³⁶. » Plus loin, il propose même une définition de la mécanologie en tant que sous-discipline de la technologie ayant pour objet les seuls individus techniques³⁷. À cela s'ajoute l'emploi de la notion de « lignée technique » même si celle-ci ne dérive pas du même type d'analogie que chez Lafitte³⁸. Simondon souligne, certes, que « comme dans une lignée phylogénétique, un stade défini d'évolution [technique] contient en lui des structures et des schèmes dynamiques qui sont au principe d'une évolution des formes³⁹ », mais il précise qu'une lignée technique ne saurait être conçue par analogie avec la biologie⁴⁰.

Ces similitudes de programme et de vocabulaire ne signifient pourtant pas qu'il existe une relation directe entre les deux penseurs. Carrozzini signale ainsi que, lors d'une émission de radio au côté de Le Moyne diffusée sur

33. Sans se prononcer sur leur filiation, l'économiste Jean-Louis Maunoury associe dès cette époque Lafitte et Simondon dans la bibliographie de son ouvrage *La Genèse des innovations. La création technique dans l'activité de la firme* (Paris, PUF, 1968), où il fait usage de la notion de « lignée technique ».

34. Gilbert SIMONDON, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 2012 [1958], p. 9.

35. *Ibid.*, p. 13.

36. Giovanni CARROZZINI, « Gilbert Simondon et Jacques Lafitte : Les deux discours de la "culture technique" », in Jean-Hugues BARTHÉLÉMY (dir.), *Cahiers de Simondon*, n° 1, Paris, L'Harmattan, 2009, p. 31.

37. *Ibid.*, p. 81.

38. Vincent BONTEMS, « Le progrès des lignées techniques », *Implications philosophiques*, 2016. En ligne : <http://www.implications-philosophiques.org/actualite/une/le-progres-des-lignees-techniques/>.

39. Gilbert SIMONDON, *op. cit.*, p. 23.

40. *Ibid.*, p. 59.

France Culture le 30 avril 1971 Simondon précise, interrogé à ce sujet par Georges Charbonnier, qu'il ne connaît que depuis peu les travaux de Lafitte⁴¹. Ceci est corroboré par plusieurs éléments. Premièrement, les *Réflexions* ne figurent pas dans la bibliographie de sa thèse complémentaire. Deuxièmement, lors de cette émission, Simondon souligne l'apport de Lafitte dans la compréhension que les édifices architecturaux sont des « machines passives » : il souligne ainsi une lacune de son propre ouvrage à laquelle il aurait probablement remédié s'il avait eu connaissance de ses travaux auparavant. Troisièmement, Simondon s'intéressait aux travaux de Wiener et à la cybernétique, si bien que les deux hommes auraient pu se rencontrer durant les années 1950 au sein du CECyb, mais, au moment où Lafitte y intervient, Simondon enseigne la philosophie en lycée à Tours, jusqu'en 1955, puis devient assistant à l'université de Poitiers. Il ne semble donc pas avoir eu vent de ces rassemblements parisiens, lui qui vivait et travaillait en province, et, réciproquement, n'ayant pas encore publié *Du Mode d'existence des objets techniques*, il n'était pas encore connu dans le milieu des cybernéticiens. Le lien entre Simondon et Lafitte n'est donc pas établi en 1958, mais il est certain qu'il s'opère avant 1971, et ce probablement à la fin des années 1960 puisque dans le cours sur « L'invention et le développement des techniques », professé durant l'année universitaire 1968-1969, Simondon fait explicitement référence aux travaux de l'architecte et intègre sa distinction entre les types de machines à sa propre classification⁴² ; les objets techniques individualisés sont caractérisés selon qu'ils sont *passifs*, *actifs* ou « à information »⁴³.

265 —

Jean Le Moyne, une trajectoire mécanologique

Tout porte à croire que c'est par l'intermédiaire de l'écrivain canadien Jean Le Moyne (1913-1996), à la marge d'un entretien filmé avec Simondon

41. Voir Giovanni CARROZZINI, art. cit., p. 29.

42. Vincent BONTEMS, « Sur la classification des machines selon Simondon », *Artefact*, n° 3, 2015, p. 183-200.

43. Gilbert SIMONDON, *L'Invention dans les techniques. Cours et conférences*, Paris, Seuil, 2005, p. 170.

en 1968⁴⁴ que ce dernier a pris connaissance de l'existence d'un devancier. Cette hypothèse est d'autant plus plausible que Le Moyne a lui-même intitulé cette rencontre « Entretien sur la mécanologie » en référence aux travaux de Lafitte qu'il connaissait depuis longtemps. En effet, au cours de sa formation intellectuelle, il avait fondé avec certains de ses amis⁴⁵ la revue canadienne *La Relève*, dont le premier numéro parut en 1934. L'un des objectifs du groupe était de faire pénétrer au Canada les idées de la revue d'Emmanuel Mounier, *Esprit*, publiant à cette fin une présentation de la revue rédigée par son fondateur⁴⁶. Or, le *Manifeste au service du personnelisme* de Mounier, publié en 1936 – que Le Moyne connaît bien – fait référence aux *Réflexions* de Lafitte⁴⁷ (Mounier et Lafitte ayant entretenu une correspondance en 1936). Cette mention attire sans doute l'attention de Le Moyne car elle rencontre ses propres intérêts sur la science et les machines qu'il n'aura de cesse de défendre avec acharnement, prônant une science des machines concrète mais aussi poétique, comme il l'exposera dans son *Itinéraire mécanologique*⁴⁸, où il prend pour modèle les rêveries de Gaston Bachelard⁴⁹. Entré à l'Office national du Film du Canada en 1959, Le Moyne participe au cours des années 1960 à l'animation d'émissions et de documentaires scientifiques où il insiste sur l'importance de développer une philosophie fondée sur les sciences et la technologie⁵⁰. C'est dans ce cadre qu'il mène, en août 1968, l'« Entretien sur la mécanologie » avec

44. L'entretien est intégralement retranscrit par Vincent Bontems dans la *Revue de Synthèse* (t. 130, 6^e série, n° 1, 2009) sous le titre « Entretien sur la mécanologie », p. 103-132, et repris dans le recueil posthume *Sur la technique*, Paris, Presses universitaires de France, 2014, p. 405-442. Le contexte est analysé par Ghislain THIBAUT, « Filming Simondon: The National Film Board, Education, and Humanism », in *Canadian Journal of Film Studies*, vol. 26, n° 1, 2017, p. 1-23.

45. Nous pouvons citer Robert Charbonneau, Paul Beaulieu ou encore Claude Hurtubise. Yvan LAMONDE, « *La Relève* (1934-1939), Maritain et la crise spirituelle des années 1930 », *Les Cahiers des dix*, n° 62, 2008, p. 153.

46. *Ibid.*, p. 169.

47. Ghislain THIBAUT, Mark HAYWARD, « Jean Le Moyne's *Itinéraire mécanologique*, Machine Poetics, Reverie, and Technological Humanism » in *Canadian Literature*, n° 221, été 2014, p. 56-72, p. 60. Pour la référence, voir p. 89 de la version numérique de Emmanuel MOUNIER, *Manifeste au service du personnelisme*, (1^{re} éd. 1936), consultée le 20 mars 2018 : http://classiques.uqac.ca/classiques/Mounier_Emanuel/manifeste_service_pers/mounier_manifeste_pers.pdf.

48. Seuls huit chapitres ont été publiés, l'œuvre n'a jamais été terminée.

49. Gaston BACHELARD, *La poétique de la rêverie*, Paris, PUF, 2016 [1960].

50. On peut par exemple mentionner *Cité savante* en 1963, une collaboration avec Claude Jutra dans le documentaire *Comment savoir* en 1966 ou encore les émissions *La cybernétique et nous* entre 1967 et 1968, Ghislain THIBAUT, Mark HAYWARD, « Jean Le Moyne's *Itinéraire mécanologique*... », art. cit., p. 57.

Simondon pour discuter, notamment, de la manière dont ce dernier se situe dans le courant « mécanologique » que Le Moyne fait débiter avec Franz Reuleaux (qui était cité par Lafitte dans son livre). Il est alors sans doute surpris d'entendre Simondon lui répondre qu'il connaît « assez mal » les auteurs auquel il fait allusion.

C'est donc certainement en marge de cet entretien que Le Moyne informe Simondon de l'existence des travaux de Lafitte : l'entretien ayant été réalisé en août 1968, la pensée de l'ingénieur est intégrée au cours de Simondon dès le deuxième semestre de l'année scolaire 1968-1969. *L'Entretien*, quant à lui, ne sera pas diffusé avant 2009 lorsque Vincent Bontems obtient l'autorisation de le projeter et en publie la retranscription dans la *Revue de Synthèse*⁵¹.

En 1971, Le Moyne et le professeur John F. Hart, lui aussi connaisseur des travaux de Bachelard, Lafitte et Simondon, organisent un premier colloque sur la mécanologie, qui se déroule du 18 au 20 mars au Centre culturel canadien de Paris et dont les actes paraissent deux ans plus tard dans le deuxième volume des *Cahiers du Centre culturel canadien*⁵². Plusieurs spécialistes sont conviés à l'événement dont Gilbert Simondon, Maurice Daumas, Henri Jones, Ludwig von Mackenson, Georges Friedmann ou encore Georges Canguilhem, qui est chargé de faire la synthèse du colloque. Ces journées sont dédiées à la mémoire de Lafitte dont « l'ouvrage capital [a été] maintes fois évoqué au cours des discussions⁵³ ». L'objectif affiché du colloque était « d'amorcer, par un effort concerté de réflexion, une réforme de l'étude des machines et un renouvellement de la connaissance qu'[ils avaient] d'elles⁵⁴ » ainsi que d'amorcer la constitution de la mécanologie en *discipline*⁵⁵. Hart souligne, par ailleurs, que la méthode

51. Le texte est envoyé par Le Moyne à Simondon pour relecture en 1970 pour un projet éditorial. Il semble cependant que l'entretien n'ait pas été publié avant 2009. Simondon y avait apporté quelques informations supplémentaires et fait ajouter des schémas pour illustrer certains propos. Voir pour cela la lettre de Gilbert Simondon à Jean Le Moyne datée du 29 mars 1970 dans « Entretien sur la mécanologie », art. cit., p. 130-132. Les bobines du film sont versées en 1976 au fonds de la Bibliothèque et Archives nationales du Québec, où elles seront conservées puis converties au format numérique et resteront inédites jusqu'en 2007, date à laquelle le philosophe Ludovic Duhem les communique à l'Atelier Simondon.

52. *La Mécanologie*, Actes de colloque, 18-20 mars 1971, *Les Cahiers du Centre culturel canadien*, n° 2, Paris, 1973.

53. *Ibid.*, p. 7.

54. *Idem.*

55. *Ibid.*, p. 9.

de Lafitte est « génétique », c'est-à-dire qu'elle suit un processus d'évolution à partir d'une genèse, ce qui lui permet de la lier étroitement aux développements de Simondon. Il faut, toutefois, préciser que le premier concevait la lignée comme la persistance d'une fonction quand le second insiste au contraire sur la nécessité de ne se fonder que sur le fonctionnement. Hart ne s'attarde pas sur ces différences et tend à assimiler les travaux de Simondon à un prolongement de ceux de Lafitte. Ce prolongement constitue en outre, à ses yeux, un pas important dans l'accomplissement des ambitions de la mécanologie en tant que discipline. Ainsi, lorsqu'il explique que « la taxinomie de Lafitte attend toujours son modèle associé », mettant en avant le fait que pour la biologie, la classification des êtres ne peut se faire en dehors d'un « modèle rigoureusement constitué »⁵⁶, voici ce qu'il dit du travail de Simondon :

« Seul Gilbert Simondon, qui ne connaissait pas l'auteur des *Réflexions* au moment où il écrivait *Le mode d'existence des objets techniques*, a traité le problème machinique avec la même profondeur que Lafitte ; mais il l'a fait dans un contexte qui englobe et la machine et l'outil. Les notions de *concrétude* et de *synergie* qu'il propose valent pour le domaine entier des objets techniques ; jusqu'à présent toutefois nul n'en a fait une application taxinomique. Simondon estime que la classification ternaire de Lafitte pourrait être modernisée en entendant par machines réflexes les machines d'information. Nous en sommes là. Chose certaine, le futur Linné de la machine devra beaucoup aux démarches fondamentales d'un Lafitte et d'un Simondon⁵⁷.

En fait, Simondon, qui avait pourtant intégré, reformulé et complexifié, les types de machines proposés par Lafitte dans son cours de 1968, ne fait aucune référence à ce dernier dans sa contribution au colloque de 1971, « L'invention dans les techniques »⁵⁸. Non seulement la « mécanologie » n'y apparaît pas, mais le mot « machine » est lui-même absent. Seul le résumé de son intervention (qui ne sera pas repris dans la publication des actes) évoque la terminologie de Lafitte, de manière allusive, en indiquant que les inventions préscientifiques « interviennent comme un intermédiaire entre

56. *Ibid.*, p. 8.

57. *Ibid.*, p. 8-9.

58. *Ibid.*, p. 41-66.

l'Homme et le Monde, et prennent une structure *passive*⁵⁹ ». Pourtant, pour qui aurait déjà lu Lafitte et le cours de Simondon, il ne fait pas de doute que la tripartition proposée par Simondon entre les inventions prés-cientifiques, industrielles et postindustrielles recoupe en grande partie la distinction entre les machines passives, actives et informationnelles. Hart n'a donc pas tort d'y voir un approfondissement de la mécanologie. La lecture rétrospective des actes du colloque tendrait même à montrer que Simondon fut, en effet, le seul à reprendre les concepts de Lafitte pour les perfectionner et les appliquer à de nouveaux objets. Il est paradoxal qu'au cours d'un événement dédié à sa mémoire, le nom de Lafitte ne soit pas cité. Cela ne signifie pour autant pas que Simondon s'attribue implicitement le travail de Lafitte puisque, dans son cours de 1968, il avait évoqué sa filiation, reconstituée *a posteriori*, avec l'architecte et reconnu sa dette envers lui.

En clôture des débats, Georges Canguilhem est invité à faire la synthèse du colloque et déclare en substance que le concept de mécanologie ne doit plus s'arrêter à la définition de Lafitte pour qui les machines « étaient caractérisées à une certaine période de l'histoire générale des techniques par leur matière, par leur forme et par leur destination⁶⁰. » Sans s'attarder sur la contribution de Simondon, il n'indique pas explicitement quel modèle doit prendre la relève. Pour les participants au colloque, il n'était donc guère évident que Simondon soit l'héritier putatif de Lafitte.

Le compte rendu du colloque n'est publié que deux ans plus tard, en 1973. Auparavant, certains commentateurs, qui participeront par ailleurs au second, esquissent des avis contrastés sur les débats qui ont eu lieu. Le journaliste scientifique Pierre de Latil publie un article en mars 1971, dans *Le Figaro*, où il rapporte que malgré quelques réticences de certains participants à utiliser le mot « mécanologie » en fin de session, l'ensemble s'est finalement accordé sur la théorie et la philosophie développées en introduction du colloque. Il assure que, de son point de vue, ce nouveau champ de recherche, qui n'était encore mentionné dans aucun dictionnaire, est en voie de reconnaissance⁶¹. Quelques mois plus tard, lors d'une intervention

59. Gilbert SIMONDON, *op. cit.*, 2005, p. 229. C'est nous qui soulignons.

60. *La Mécanologie, op.cit.*, p. 105.

61. L'article est cité par Hart dans l'introduction du second colloque de mécanologie de 1976. Voir *La Mécanologie*, Actes du deuxième colloque, 21-22 mars 1976, *Les Cahiers du Centre culturel canadien*, n° 4, Paris, 1979, p. vii.

donnée à Moscou pour le Congrès d'histoire des sciences d'août 1971, Jacques Guillaume relève de son côté que « bien qu'[ils aient] trait[é] abondamment de maints aspects du machinisme, l'objet précis qui motivait le colloque, précisément cette mécanologie de Lafitte, parût quelque peu négligé⁶². » Prometteur pour certains, en demi-teinte pour d'autres, ce premier colloque a été, selon ses organisateurs, l'occasion de remettre en lumière la mécanologie et la pensée de Lafitte. En tout cas, l'idée s'impose d'en organiser un second cinq ans plus tard.

Ce projet est, en effet, discuté dès la conclusion du premier colloque, certains, comme Gaston Berger, proposant de réunir une commission d'étude pour développer plus en détail les conclusions qui auraient été tirées *a posteriori* de cet événement, quand d'autres privilégient la programmation d'un second colloque. La seconde option est portée à nouveau par Le Moyne et Hart et aboutit au second colloque, qui semble cependant ne pas s'être déroulé comme prévu. C'est ce qu'indique Hart dans son introduction au colloque de 1976, arguant que certains n'ont pas pu faire le déplacement, comme Le Moyne ou von Mackenson, et que l'un des acteurs du projet, Sir Arthur Elton, producteur britannique de documentaires qui promouvait, aux dires de Hart, les idées de Lafitte en Grande-Bretagne, est décédé durant son organisation. C'est donc avec un programme modifié que le colloque se déroule les 21 et 22 mars 1976, à nouveau au Centre culturel canadien de Paris. Les participants sont, en plus de Hart et Simondon, Guillaume, Latil, Jean Cazenobe, Henri Jones, Jacques Payen et F. (?) Brook. L'introduction de Hart affiche comme objectif de ce colloque « *Mécanologie 2* » d'en faire un « forum de recherche » pour établir les axes de développement prioritaires de la mécanologie⁶³. Par ailleurs, il fait référence à l'entretien radiophonique d'avril 1971 avec Simondon pour à nouveau souligner la proximité de sa pensée avec celle de Lafitte, voire la *cumulativité* entre les deux pour la production d'une réflexion nouvelle, plus contemporaine et au fait des dernières avancées techniques⁶⁴.

L'intervention de Simondon sur « Le relais amplificateur » témoigne d'une ambition supplémentaire par rapport à la synthèse proposée lors

62. Texte initialement publié dans les Actes du XIII^e congrès international d'histoire des sciences, Moscou 18-24 août 1971, repris dans Jacques GUILLERME, *L'art du projet : histoire, technique, architecture*, Wavre, Mardaga, 2008, p. 47.

63. *La Mécanologie*, Actes du deuxième colloque, *op. cit.*, p. vii.

64. *Ibid.*, p. vii-viii.

du précédent colloque : si elle démontre d'abord la valeur opératoire des concepts par l'analyse du relais amplificateur, ce dispositif possède, en outre, une valeur paradigmatique pour Simondon, la notion d'amplification jouant un rôle central dans sa philosophie. Le choix du relais constitue alors aussi un moyen détourné de se positionner par rapport à Lafitte et Wiener. Dans son cours de 1968-1969, Simondon avait redéfini les types de Lafitte en fonction de relations entre ordres de grandeur et rebaptisé les machines réflexes de Lafitte, machines « à information », en caractérisant leurs performances par l'amplification de l'information à une échelle supérieure. Cette généralisation montrait qu'il considérait que l'attention exclusive que portait Lafitte et a fortiori Wiener aux machines dotées d'un *feedback* était préjudiciable à la généralité des analyses technologiques. Or, le relais est un dispositif qui permet de faire ressortir l'importance de l'amplification. Lors du colloque tenu à Royaumont en 1962 sur « Le concept d'information dans les sciences contemporaines », auquel participa Wiener, Simondon avait déjà choisi de consacrer son intervention à « L'amplification dans les processus d'information ». Ce choix constituait une critique implicite de la définition de la notion d'information par le père de la cybernétique en même temps qu'une généralisation analogique de la notion d'amplification, d'origine technologique, aux phénomènes sociaux. Le choix du relais amplificateur en 1976 ne doit donc rien au hasard. Loin d'être anecdotique, il est censé manifester la portée plus générale de l'étude des schèmes technologiques : « Le relais technique peut servir de modèle pour comprendre un grand nombre de fonctionnements techniques, naturels ou physiologiques. »⁶⁵ Dans cette étude technique, apparemment modeste, Simondon affirme en réalité les ambitions et l'originalité de sa pensée.

Sa stratégie est alors la même que lors du précédent colloque de mécanologie : sa communication ne comporte aucune référence explicite à Lafitte. Cela est d'autant plus frappant que la même année il mentionne, intègre et développe la typologie de Lafitte dans son cours sur « Invention et créativité »⁶⁶ en proposant de distinguer, par exemple, entre les machines

65. Gilbert SIMONDON, *Communication et Information. Cours et conférences*, Chatou, La Transparence, 2010, p. 183.

66. Gilbert SIMONDON, « Invention et créativité » in *La Résolution des problèmes*, Paris, PUF, 2018, p. 147-262 : « Nous emploierons la classification de Jacques Lafitte, qui répartit en trois groupes les produits de la technique. » (p. 153).

engendrant et transmettant l'information. Cette attitude est d'autant plus paradoxale que ce cours remet ainsi au premier plan la notion de « machine ».

Dans le même temps, l'introduction de Hart inscrit le colloque et le travail de Lafitte dans une longue tradition de recherches sur la technique qu'une vision fantasmatique fait remonter aux bâtisseurs des pyramides d'Égypte en passant par les Compagnons du Devoir. Il s'appuie, pour formuler cette hypothèse, sur la dédicace de Lafitte adressée à ses bisaïeux qui furent tous artisans et dont un était effectivement Compagnon du Devoir⁶⁷. En somme, Hart perçoit dans le colloque de 1976 la possibilité de poursuivre une tradition immémoriale. Faut-il y voir une manière désespérée de conjurer un certain découragement ? Toujours est-il que le second colloque de mécanologie sera aussi le dernier, aucune bonne volonté ne se proposant de rééditer l'effort au service du collectif en l'absence d'un coordinateur tel que Jean Le Moyne.

L'héritage de la mécanologie après 1976

En l'absence de projets porteurs tels qu'un nouveau colloque, le lancement d'une revue spécialisée ou la fondation d'une institution en France, la mécanologie semble avoir fait long feu. Les travaux de Thibault et Hayward ont documenté comment une tentative fut faite, au Canada, de développer un groupe autour de la mécanologie sous l'impulsion de Hart, d'abord dans son département à la *Western University* de l'Ontario puis au sein du *Mechanology Centre* de Zurich (Ontario). Cependant, cette entreprise n'a tenu que quelques années avant de fermer, faute de financement, à la fin des années 1970⁶⁸. L'un des objectifs du centre était de traduire des textes mécanologiques français en anglais afin d'assurer une meilleure diffusion de ces idées. Ce sera le cas pour les *Réflexions* de Lafitte en 1978⁶⁹ ainsi que pour la première partie de *Du Mode d'existence des objets techniques*, en 1980. En plus de superviser la traduction

67. Jacques LAFITTE, *op. cit.*

68. Voir Mark HAYWARD, "Feasibility, Failure and Infrastructure", in *Recovering/Retracer la mécanologie*, 2016, Projet de recherche sous la direction de Mark Hayward et Ghislain Thibaut, universités de Montréal et de York, consulté le 21 mars 2018 : <http://mecanologie.ca/2016/11/21/419/>.

69. Jacques LAFITTE, *Reflections on the Science of Machines*, vol. 1 de *Series on mechanology*, London, Computer Science Department, University of Western Ontario, 1978.

effectuée par Ninian Mellamphy, Hart écrira une préface⁷⁰, reprise dans l'édition française de 1989, dans laquelle, une fois encore, il insistera sur la filiation mécanologique entre Lafitte et Simondon, mentionnant à cette occasion le cours, encore inédit, sur « L'invention et le développement des techniques » de 1968-1969. Quant à Jean Le Moyne, il souhaitait publier ses réflexions sur les machines en trois volumes sous le titre *Itinéraire mécanologique*. Il ne publiera finalement que les huit premiers chapitres de cet écrit largement autobiographique, dans les *Écrits du Canada français* en 1982 et 1984. Ses considérations sur les machines versent plutôt dans les rêveries bachelardiennes qu'elles ne réfléchissent aux conditions de la constitution d'une science des machines. Il prendra ensuite sa retraite littéraire pour se consacrer davantage à la politique⁷¹.

À suivre les acteurs de l'éphémère convergence des années 1960-1970, on ne peut que constater l'essoufflement des efforts en vue de constituer la mécanologie en tant que discipline. De là à justifier cet échec, il n'y a qu'un pas. Certains facteurs sociaux sont aisément repérables dans le récit que nous avons esquissé : la faiblesse des ressources, l'hétérogénéité des acteurs, l'absence de consensus autour de l'appellation même de « mécanologie », la difficulté, enfin, de coordination entre les deux rives de l'Atlantique et sur le long terme. Les conditions sociales de l'institutionnalisation d'une discipline étaient loin d'être réunies. Mais qu'en étaient-ils des conditions épistémiques ? Mark Hayward et Ghislain Thibaut n'hésitent pas à expliquer l'échec de la mécanologie par le fait que la notion de machine aurait perdu son caractère signifiant⁷².

Toutefois, dans le prolongement des remarques de méthode de Reinhart Koselleck sur la complexité de l'articulation entre histoire sociale et histoire intellectuelle⁷³, nous voudrions insister sur la nécessité de dissocier

70. Gilbert SIMONDON, *On the Mode of Existence of Technical Objects*, (1^{re} partie), Ninian Mellamphy (trad.), London, Canada, University of Western Ontario, 1980. Cette traduction, complétée ultérieurement par le fils et la belle-fille du traducteur (Dan et Nandita Mellamphy) ne sera pas publiée en raison de l'opposition des ayants-droit.

71. Pour une vision d'ensemble du parcours de Jean Le Moyne, voir Roger ROLLAND et Gilles MARCOTTE, *Jean Le Moyne, une parole véhémence*, Québec, FIDES, 1998.

72. Voir Ghislain THIBAUT, Mark HAYWARD, "Understanding Machines: A History of Canadian Mechanology", *Canadian Journal of Communication*, n° 3, vol. 42, 2017, p. 449-466. En ligne, consulté le 21 mars 2018 : <https://doi.org/10.22230/CJC.2017V42N3A3197>.

73. Reinhart KOSELLECK, « Histoire des concepts et histoire sociale », in *Le Futur passé. Contribution à la sémantique des temps historiques*, Paris, Éditions de l'EHESS, 2016, p. 127-148.

l'échec patent de la construction sociale de la mécanique en tant que discipline des résultats éventuels de son élaboration intellectuelle. Si l'on tente de cerner le noyau théorique de la mécanique conservé de Lafitte à Simondon, voire donnant lieu à une cumulativité selon certains commentateurs, c'est la notion de lignée technique qui s'impose avec l'approche « génétique » qui l'accompagne – et ce même si Simondon semble y avoir renoncé dans ses derniers travaux d'inspiration mécanologique⁷⁴. Car, c'est toujours en référence à Lafitte et Simondon que perdure jusqu'à nos jours l'ambition affichée par certains des meilleurs connaisseurs des techniques d'une méthode « génétique » capable d'appréhender l'évolution technique⁷⁵. Le jugement rétrospectif sur l'héritage de la mécanique dépend donc crucialement des acteurs qui sont considérés, surtout si l'on prend la peine de distinguer, suivant encore Koselleck, le mot « mécanique » du concept correspondant.

La trajectoire la plus importante à étudier à cet égard serait celle d'Yves Deforge qui, pérennisant son enseignement de « culture technique » à l'université technologique de Compiègne en 1980, mobilisa le concept de « lignée technique » en superposant la définition fonctionnelle de Lafitte et celle de Simondon liée au fonctionnement : « Notre premier outil a donc été la notion de lignée génétique. Une lignée étant constituée par les objets ayant la même fonction d'usage *et* le même principe⁷⁶. » Deforge explicitera, quelques années plus tard, les difficultés d'application de son approche « génétique » en se référant explicitement à la mécanique : « La difficulté de la mécanique, puisque c'est le titre que G. Simondon lui donne en hommage à J. Lafitte, est qu'elle nous oblige à parcourir l'ensemble du champ des techniques⁷⁷. » Au fait du cours sur « L'invention dans le développement des techniques », Deforge s'inscrit dans une filiation mécanologique, alors même qu'il revendique son appartenance à la « technologie ». Jean-Claude Boldrini propose une version schématique des différentes possibilités d'évolution d'une lignée technique incluant de

74. La notion de lignée technique n'apparaît plus dans le cours « Invention et créativité » (1976).

75. Michel COTTE, « La génétique technique a-t-elle un avenir comme méthode de l'histoire des techniques ? », in Anne-Lise REY (dir.), *Méthode et Histoire, journées d'études de la SFHST*, Lille, 2007, Paris, Publications de la SFHST, 2010, p. 187-201.

76. Yves DEFORGE, « Postface » in Gilbert SIMONDON, *Du Mode d'existence des objets techniques*, art. cit., p. 305.

77. *Ibid.*, p. 96.

nombreuses notions clés introduites par Deforge telles que *bifurcation*, *saturation*, *mutation*, *abandon*, *résurgence* ou encore *hybridation*⁷⁸ (Fig. 1).

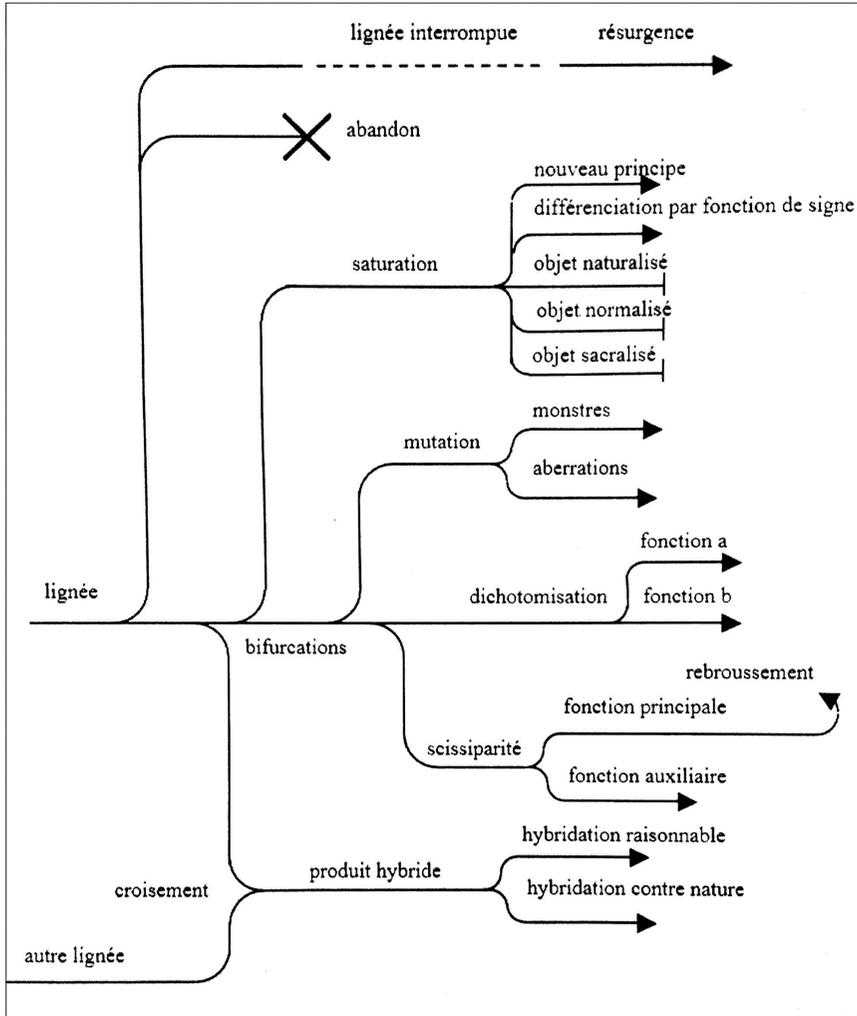


Fig. 1. - « L'évolution des lignées techniques et ses possibles avatars (adapté de Deforge, 1985, 1989) »

Par Jean-Claude Boldrini dans « Le rythme implacable de l'innovation est-il gouverné par des lois d'évolution internes aux objets ? », *Revue française de gestion industrielle*, vol. 31, n° 1, 2012, p. 117.

78. Jean-Claude BOLDRINI, « Le rythme implacable de l'innovation est-il gouverné par des lois d'évolution internes aux objets ? », *Revue française de gestion industrielle*, vol. 31, n° 1, 2012, p. 107-131.

Que Deforge considère le concept de lignée technique comme le principal instrument de sa « génétique » des techniques ne signifie pas pour autant qu'il parvienne à assurer la cumulativité de la méthode et à la transmettre. Sa réflexion paraît souvent hésitante quant aux critères permettant d'inclure ou non un objet au sein d'une lignée, de différencier les branches au sein de celle-ci, ou bien encore de marquer les sauts entre générations en leur sein. Il semble que Deforge ait cherché à concilier l'héritage conceptuel de la mécanologie avec le vocabulaire en vigueur dans les sciences de l'ingénieur en identifiant le « schème technique » de Simondon au « schéma de principe » des techniciens. Il manifeste, en outre, à de multiples reprises des velléités de dépassement du cadre conceptuel des lignées pour analyser l'évolution technique :

“ Selon Deforge, l'ensemble des possibles délimite le cadre dans lequel a lieu l'évolution technique : elle a lieu par exploration de l'ensemble des solutions, repérées dans une matrice dont chaque case constitue l'origine d'une lignée possible. Sur l'exemple de la machine à écrire, il “constate une prolifération de solutions comme si les chercheurs s'étaient acharnés à remplir toutes les cases de la matrice”⁷⁹

Quand Deforge tente ainsi de combiner une formalisation matricielle – pour représenter l'exploration inventive d'un espace des solutions possibles – avec la formalisation des lignées techniques, il se heurte à un problème qui avait déjà été identifié, et résolu de manière assez satisfaisante, par l'économiste Jean-Louis Maunoury. Face à l'insuffisance de la représentation unilinéaire de l'évolution des lignées techniques, et à l'absence d'indication claire de Lafitte et Simondon, Maunoury avait procédé à la distinction entre la *rectitude* et l'*épanouissement* des lignées techniques. La rectitude désigne la rapidité avec laquelle une lignée progresse dans le sens de la concrétisation et l'épanouissement, la variété des solutions qu'elle développe à un certain stade de son évolution :

“ [...] la rapidité d'obtention des nouveautés ne dépend pas uniquement de la façon dont les informations sont utilisées et produites maintenant pour résoudre tel problème. Elle dépend aussi de la façon dont les informations ont été utilisées avant. C'est

79. *Idem.*

un exemple, entre autres, du fait qu'une nouveauté est en partie conditionnée dans son apparition par le développement de la lignée à laquelle elle appartient⁸⁰.

Ces deux variables d'évaluation distinctes sont cependant corrélées selon Maunoury car plus les précédentes générations d'une lignée technique ont été largement explorées plus elle aura de chance de s'épanouir rapidement à la génération suivante. Cet exemple souligne ce qui nous paraît l'enjeu principal de la constitution d'une tradition de recherche en mécanologie. Il ne s'agit pas tant de mesurer la convergence des revendications d'appartenance, ou d'observer les efforts collectifs pour instituer une revue ou un centre de recherche, que d'étudier la possibilité d'une cumulativité des recherches.

Or, l'unique manière cohérente et cumulative de mettre en œuvre les outils conceptuels proposés par Lafitte et Simondon est de les formaliser afin d'assurer la reproductibilité et la transmission d'une méthode. Le grand mérite de Deforge est donc d'avoir mis au premier plan les *questions de méthode* même s'il n'est pas toujours parvenu à leur apporter des réponses satisfaisantes. Et il nous semble que c'est sur ce plan que pourrait être posée la question de l'existence d'une lignée d'inspiration mécanologique au-delà des revendications disciplinaires. Ainsi, l'on peut faire état des travaux de Jean-Louis Ermine qui propose une méthode opératoire pour tracer des « diagrammes de lignées » sans se limiter à l'étude des machines ou de systèmes matériels : « C'est un outil bâti et utilisé dans les théories qui fondent l'histoire des techniques ou des technologies des groupes humains (A. Leroi-Gourhan, J. Baudrillard, A. Moles, G. Simondon, cf. une synthèse de ces références dans [Deforge 85]). Il s'adapte ici assez bien au contexte de l'évolution des connaissances en général⁸¹. » C'est en poursuivant l'étude de la méthode génétique en dehors de l'horizon historique délimité par le marqueur de l'expression « mécanologie » que l'historien fera apparaître une histoire conceptuelle inédite de la mécanologie :

« Toute l'histoire d'une expression et d'un concept mène de la détermination du sens passé à la fixation de ce sens pour nous.

80. Jean-Louis MAUNOURY, *op. cit.*, p. 105.

81. Jean-Louis ERMINE, *Les Systèmes de connaissance*, 2^e édition, Paris, Hermès, 2000 (1996), p. 118. L'ouvrage auquel l'auteur fait allusion est Yves DEFORGE, *Technologie et génétique de l'objet industriel*, Paris, Maloine, 1985.

Dans la mesure où l'histoire des concepts analyse méthodiquement cette façon de procéder, elle complète déjà l'analyse synchronique du passé par une approche diachronique. C'est un devoir méthodologique de l'approche diachronique que de redéfinir scientifiquement l'ensemble des significations passées de certains mots. Logiquement, cette perspective méthodologique finit par se transformer en une histoire du concept en cause. Dans la mesure où, au cours de la deuxième phase de l'analyse, les concepts sont détachés de leur contexte initial et leurs significations sont l'objet d'un enregistrement, puis se rapprochent les unes des autres, ces différentes analyses conceptuelles finissent à certains moments précis par s'additionner en une histoire du concept⁸².

Conclusion : pour une perspective récurrente et opératoire⁸³

En introduction, nous avons attiré l'attention de notre lecteur sur le fait que la divergence d'appréciation sur le projet mécanologique qu'on observe entre les études de nos prédécesseurs dépendait fortement de leur échelle d'analyse : le survol du temps long encourage l'observation de récurrences impersonnelles, tandis que l'analyse de trajectoires individuelles oblige à mesurer l'originalité de chacune d'elles. En retraçant la divergence des trajectoires des porteurs du projet de fonder la mécanologie en discipline, il est donc tentant de remiser celle-ci au cimetière des disciplines avortées, voire impossibles. Dans un entretien avec Axel Honneth, Hermann Kocyba et Bernd Schwibs, Pierre Bourdieu raillait les pseudo-disciplines inventées par des philosophes français dans les années 1960 : « C'est ce que j'appelle l'effet –logie, par référence à tous les titres utilisant cette désinence, archéologie, grammatologie, sémiologie, etc., expression visible de

82. Reinhart KOSELLECK, *op. cit.*, p. 135-136.

83. Nous employons « récurrente » à la manière de Gaston Bachelard, c'est-à-dire pour qualifier une perspective d'évaluation rétrospective de ce qui est modifié, conservé, éliminé ou amplifié d'une théorie antérieure et qui éclaire ainsi sa valeur opératoire en même temps que ses limites : « Les révélations du passé sont toujours récurrentes. Le réel n'est jamais "ce qu'on pourrait croire" mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser. » (*La Formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 2004 [1938], p. 13).

l'effort des philosophes pour brouiller la frontière entre science et philosophie. »⁸⁴ Faudrait-il ranger la mécanologie à la même enseigne que ces tentatives de reconversion « à demi » de philosophes ? Même si leur tendance à privilégier la théorie sur les études empiriques est avérée, Lafitte et Simondon sont loin de ces stratégies d'esbroufe : l'un était un ingénieur passionné, l'autre dirigeait un laboratoire de psychologie et de technologie⁸⁵. Tous deux se sont, en outre, attachés à fournir des applications concrètes de leurs concepts. Cependant, force est de constater que leur méthode génétique ne semble s'être jamais stabilisée. Si le concept de « lignée technique » persiste sur la longue durée, c'est davantage parce qu'il a été réinventé à de multiples reprises que parce qu'il aurait été transmis avec un « mode d'emploi ».

Rétrospectivement, c'est surtout cette totale absence de considérations pratiques, c'est-à-dire de prescription méthodologique, qui frappe dans les écrits de Lafitte et de Simondon. Quelle que soit l'admiration que suscitent leur réflexion théorique et les applications qu'ils en donnent, à aucun moment ils n'explicitent de quelle façon ils ont recueilli l'information, ni le traitement qui leur a permis de la convertir en une connaissance mécanologique, ni encore le mode de représentation adéquat pour la communiquer. Seul Deforge s'est concrètement attaché à cette tâche, probablement parce qu'il enseignait, et c'est pourquoi l'exposition de sa méthode est précieuse même si elle se réduit le plus souvent à la juxtaposition d'outils plutôt qu'à une synthèse aboutie.

Cette cumulativité défailante n'empêche pas que certains des problèmes auxquels il se heurtait trouvent une solution dans les travaux d'autres chercheurs qui ne se revendiquent pas nécessairement de la mécanologie ni même de la technologie. C'est pourquoi une « histoire conceptuelle » de la mécanologie doit, selon nous, adopter une perspective récurrente *et* opératoire, c'est-à-dire compléter l'enquête historique sur les usages sociaux de l'expression « mécanologie » par une enquête sur les usages opératoires de certains concepts, au premier rang desquels celui de « lignée technique », orientée vers la constitution d'une méthodologie « génétique » formalisée et transmissible.

84. BOURDIEU Pierre, « Fieldwork in philosophy », in *Choses dites*, Paris, Éditions de Minuit, 1987, p. 16.

85. Voir Vincent BONTEMS, « Pourquoi Simondon ? La trajectoire et l'œuvre de Gilbert Simondon », *Alliage*, n° 76, 2015, p. 58-69.

L'objection de principe selon laquelle la technologie ne saurait jamais se constituer en une méthode opératoire en raison de l'impossibilité d'élaborer un formalisme transhistorique qui résiste à l'évolution rapide des objets techniques qu'il doit représenter ne nous semble pas réhibitoire dans la mesure où, d'une part, il ne s'agit justement pas, dans une perspective génétique, de représenter un état synchronique de la technique mais d'analyser son évolution, et que, d'autre part, même les mathématiques sont soumises à l'exigence de réviser leurs catégories, la métastabilité du formalisme étant le lot commun de toutes les sciences. Cette entreprise dépasse les fonctions habituelles de l'histoire de la technologie, elle nous semble, en revanche, relever pleinement de l'approfondissement de la lignée mécanologique.

Auteurs

Yohann Guffroy est historien, actuellement employé au Laboratoire de Recherche sur les Sciences de la Matière (Larsim-CEA) dans le cadre du projet Caroline (« Cartographie des lignées techniques »). Il est l'auteur d'un mémoire intitulé *Enquête sur la première vie d'une collection muséale : la cession de l'École supérieure des postes et télégraphes*, 2017. Contact : yohann.guffroy@cea.fr.

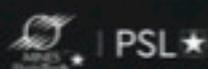
Vincent Bontems est philosophe, chercheur au Laboratoire de Recherche sur les Sciences de la Matière (Larsim-CEA) et chercheur associé au Centre de Gestion Scientifique (CGS - Mines Paris Tech). Il a récemment publié avec Vincent Minier *et al.*, *Inventing a Space Mission, the History of the Herschel Space Observatory*, Springer, Cham, 2017. Contact : vincent.bontems@cea.fr.

Sciences de la Conception

Vincent Bontems (Dir.)

Bachelard et l'avenir de la culture

Du surrationalisme à la raison créative



Presses des Mines

Dialogue pour une épistémologie de la raison créative

Armand Hatchuel¹ (interrogé par Vincent Bontems)

Vincent Bontems : Dans l'introduction de l'ouvrage, je me suis efforcé de mettre en évidence les résonances artistiques et politiques du manifeste philosophique que constitue «le surrationalisme». Il me semble que celles-ci témoignent de la conscience qu'avait Bachelard que son entreprise de rénovation du rationalisme appartenait à un régime de création nouveau qui bouleversait l'ensemble de la culture des années 1930.

Souvent, au cours de nos échanges, nous découvrons des correspondances entre nos généalogies intellectuelles respectives. En soulignant l'importance du rôle des «noumènes» mathématiques et des instruments «phénoménotecniques», Bachelard a mis en évidence, dans le *Nouvel Esprit scientifique* (1934), que la raison contemporaine était à la fois créative (elle forme des concepts inédits) et créatrice (elle produit de nouveaux objets). Cela en fait un jalon essentiel dans la recherche d'une épistémologie de la raison créative (et créatrice). Le surrationalisme constitue la «pointe» de cette recherche d'une redéfinition dynamique de la raison. Pourrais-tu évoquer la signification que revêt la période de l'entre-deux-guerres pour toi?

Armand Hatchuel : *Sans être spécialiste de Bachelard, il me semble que le projet qu'il forme dans les années 1930 consiste à repenser le développement de la science non comme une accumulation et un raffinement mais comme une capacité à penser la rupture avec les notions les plus établies (espace, temps, observation..) y compris, par la science elle-même. De ce point de vue, nos généalogies se croisent en effet. Car, le régime de création qui se met en place à cette époque a deux visages qui semblent distincts mais dont on peut montrer qu'il s'agit d'une même mutation du rationalisme.*

Le premier visage de cette mutation est à juste titre celui des grandes ruptures conceptuelles de la géométrie non-euclidienne, de la relativité einsteinienne et de la mécanique quantique. Bachelard en tire la conclusion qu'un aggiornamento de la conception classique de la science est nécessaire.

1 Professeur à Mines ParisTech.

*Le second visage de la transformation de la science sur la même période – qui pour moi va des années 1880 aux années 1930 – est bien décrit par un dossier récent de la revue *Entreprises et Histoires*² auquel j'ai pu collaborer. Il décrit ce qui est appelé le « tournant fayolien ». Henri Fayol (1841-1925), qui fut un grand dirigeant et un grand savant, est emblématique des nouveaux rapports entre recherche scientifique et industrie qui émergent à cette époque, avec la multiplication des laboratoires industriels. Le prix Nobel de physique de 1920 fut décerné à Charles Edouard Guillaume pour les travaux qu'il mena durant plusieurs années avec les usines de Fayol à Imphy (Nièvre). Ces travaux conduisirent notamment à la découverte en 1896 des alliages Fer-Nickel (Invar) qui ne se dilatent pas. On désigne encore par recherche « industrielle » ou recherche « appliquée », ce type de science. Mais ces termes masquent la mutation épistémologique qu'elle engendre.*

Le tournant fayolien marque aussi une révolution du rationalisme, car s'y opère l'hybridation ou même la fusion entre deux rationalités : celle de l'ingénieur et celle du scientifique. Ce n'est pas la première fois que cela arrive dans l'histoire, et sur bien des aspects l'œuvre de Galilée s'inscrivait dans cette perspective. Mais c'est la première fois de l'histoire que cette fusion est activement recherchée, systématisée, organisée et outillée à l'échelle mondiale. Il est vrai que la grande industrie moderne en dépend directement, et en retour celle-ci est souvent seule à même d'assurer les conditions de possibilité intellectuelles, matérielles et sociales de cette fusion.

Or, le rationalisme de l'ingénieur n'est en rien assimilable à la quête d'une vérité immuable ou au dévoilement infini du réel. Héritier de l'architecte, l'ingénieur est d'abord un créateur, ou plutôt un concepteur – c'est la dénomination que nous retenons car elle s'éloigne de la métaphore théologique et de l'ex nihilo. La vérité ne l'intéresse que lorsqu'elle contribue à donner une réalité plus assurée à ses « concepts ». Et ceux-ci prennent toujours, à leurs débuts, la forme de la fiction et de la chimère désirable : le pont le plus haut, voyager sous l'eau, capturer la voix humaine...

La fusion entre la démarche de l'ingénieur et celle de la recherche scientifique n'avait rien de nécessaire. L'imagination des ingénieurs ainsi que leurs réalisations, précèdent de beaucoup la science moderne. Et, c'est seulement à partir de la deuxième moitié du XIX^e siècle qu'il devient possible de penser cette nouvelle « raison créatrice »³. Cette fois, la science est beaucoup plus qu'un garde-fou sourcilieux qui interdit de croire au mouvement perpétuel. Pensée comme renouvellement permanent, la science justifie et libère l'imaginaire technique et social. La science n'est plus un état définitif et irréversible de la connaissance. Elle promet un potentiel infini de vérités inconnues dont l'investigation pourrait servir les concepts les plus audacieux. Ainsi comprise, la démarche scientifique

2 *Entreprises et Histoire*, Juin 2016 n° 83. Dossier dirigé par Blanche Ségrestin.

3 C'est-à-dire raison productrice de nouveaux objets. On peut aussi dire « raison conceptrice » : voir la fin de ce dialogue.

soutient l'imaginaire du concepteur. Elle libère celui-ci du carcan de « l'état de l'art » et du « faisable ».

Mais l'effet de la raison créatrice sur le développement scientifique est plus surprenant. L'imaginaire technique ainsi libéré, y compris sous la forme du concept le plus déroutant – chercher un métal qui ne se dilate pas – devient un moteur et un guide de la recherche scientifique. Il désigne l'inconnu à explorer, à reconnaître. L'histoire de la médecine témoignait déjà d'une fusion similaire: les rêves de guérison ou de jeunesse ont stimulé de nouvelles enquêtes sur la vérité des corps. En retour, la science a nourri le désir de corps radicalement nouveaux.

La fusion des démarches de l'ingénieur et de la science bouleverse, elle aussi, le vieux rationalisme objectiviste. Il reste vrai que « l'on ne commande à la nature qu'en lui obéissant », mais celle-ci semble se plier aux désirs les plus fous, comme faire tenir la plus grande bibliothèque du monde dans une tête d'épingle... Dans les années 1930, cette révolution se traduit par le développement massif, des bureaux d'ingénierie, des départements techniques et des laboratoires, que le XX^e siècle va déployer et amplifier. Chacun sait les innombrables manifestations du régime créateur de cette époque: entre 1880 et 1930, naissent l'automobile, l'avion, l'énergie électrique, les plastiques, la radio, le téléphone et la plupart des objets techniques dits modernes. Ce régime a préparé le nôtre, qui atteint une intensification sans précédent, avec les risques militaires, environnementaux et sociaux qui lui sont inhérents.

Au plan théorique, l'épistémologie s'est peu intéressée à ce deuxième visage du nouveau rationalisme. Il est vrai qu'avec les instruments théoriques disponibles, il n'était pas facile de rendre compte, de façon rigoureuse, de ce versant de la raison créatrice, hâtivement et maladroitement nommée « sciences appliquées ». De fait, il a fallu élaborer une « théorie de la conception⁴ » dans laquelle la quête de la vérité est inséparable d'un « concept », c'est-à-dire – dans le langage de la théorie – d'un inconnu dont nous désirons faire advenir l'existence.

Or – et ce fut une surprise intéressante – le formalisme de la théorie de la conception rendait aussi compte des grandes ruptures scientifiques qui ont frappé Bachelard. « C'est au moment où un concept change de sens qu'il a le plus de sens » (Le nouvel esprit scientifique). Car, ce qui permet de surmonter l'obstacle épistémologique, ce n'est pas seulement une nouvelle vérité, mais un inconnu désirable qui désigne la zone « obscure » de la pensée et du réel, où il faut chercher. L'enjeu de notre échange est certainement de comprendre les liens étroits qui peuvent exister entre la théorie de la conception et le

4 Que l'on désigne dans la littérature par « théorie C-K » à partir de l'anglais « Concept-Knowledge theory ». Armand Hatchuel et Benoît Weil, *C-K theory: a new approach of innovative design*, ICED proceedings, 2003 ; cf. Armand Hatchuel et Benoît Weil, *Les nouveaux régimes de la conception. Colloque de Cerisy*, Hermann 2014 ; Pascal Le Masson et al., *Design Theory*, Springer, 2017.

surrationalisme que Bachelard veut penser en observant les grandes ruptures de la science, à la même époque. La raison créative et la raison créatrice s'éclairent l'une l'autre.

VB : L'opposition au logicisme du Cercle de Vienne caractérise l'épistémologie de la raison créative de Bachelard. Comme son collègue et ami Ferdinand Gonseth, il estime que la scientificité consiste en une dynamique de révision constante. C'est pourquoi, il refuse d'identifier le raisonnement scientifique au respect des contraintes logiques qui ne s'appliquent qu'à une structure formelle stabilisée. Au nom de l'ouverture à la nouveauté, il défend donc la dialectique du «non» (par analogie avec la géométrie non-euclidienne) entre les connaissances déjà acquises et celles qui doivent encore émerger. Cette dialectique du connu et de l'inconnu suppose de reconnaître l'incomplétude perpétuelle de la base de connaissance et permet une extension de l'axiomatique du raisonnement scientifique. Peux-tu revenir sur l'importance que revêtent, dans ta perspective, les travaux de l'élève de Kurt Gödel, Paul Cohen (1934-2007), pour la formalisation des processus de conception innovante?

AH : *En effet, pour la théorie de la conception, les apports du Forcing de Paul Cohen sont fondamentaux. Et ce qu'ils disent, de mon point de vue, sur la théorie du développement scientifique mérite d'être explicité. Bachelard disparaît en 1962, trop tôt pour les connaître. J'indique d'abord que la théorie de la conception peut être vue comme une généralisation du Forcing à des objets n'ayant pas les propriétés habituelles des objets mathématiques.*

Pour comprendre épistémologiquement le Forcing de Cohen, il faut, me semble-t-il, revenir sur une notion fondamentale de logique que tout le monde peut comprendre. Cette notion n'est pas la contradiction mais l'indépendance, qui mérite tout autant d'attention et n'a pourtant pas de place dans la culture commune. Au sein d'un système de connaissances considérées comme établies K (une axiomatique par exemple), la contradiction, on le sait bien, c'est l'existence d'une proposition P qui serait à la fois vraie et fausse. Et au fond, le rationnel, c'est d'abord la chasse à la contradiction. Maintenant, supposons que P puisse être vraie ou que P puisse être fausse sans que, dans chaque cas, cela soit contradictoire avec K , on dira alors que P est indépendante de K .

L'indépendance modifie directement la perception de la contradiction. Si K et P sont toutes deux vraies, on ne peut pas en déduire que K et non- P serait faux ! K est donc compatible avec P et avec non- P . En mathématiques, la notion d'indépendance, peut sembler étrange parce que les rapports de nécessité et de déduction y dominent et sont activement recherchés. L'indépendance y est troublante parce qu'elle introduit une zone de liberté, un «ça dépend» pour reprendre Bachelard⁵. Pourtant, l'indépendance est non seulement banale, mais aussi très utile dans le monde des objets techniques. Un même

5 Gaston Bachelard, *L'Engagement rationaliste*, Paris, Presses universitaires de France, 1972.

outil peut être un couteau et un non-couteau, selon la volonté de son utilisateur. Et cela peut se concevoir de multiples façons : la plus simple est celle du « couteau suisse » qui peut se transformer en couteau ou en loupe. « Le couteau suisse » organise donc l'indépendance de ses différents usages, sans créer de contradictions.

En mathématiques, comme en science, transformer une contradiction en une indépendance est un bouleversement et une libération. Supposons un premier état des connaissances K , dans lequel P est vraie et sa négation nécessairement fausse. Supposons ensuite, qu'il soit possible de montrer que l'on peut aussi bien observer P que non- P , alors c'est toute la connaissance qui dans K « forçait » P qu'il faut revoir. Et comme non- P a été aussi observé, c'est donc qu'il y a de nouvelles connaissances qui ont permis que non- P soit possible. On passe donc de K à un nouveau système de connaissances K' où P est devenue indépendante. Surtout, la vérité de P devient dépendante de paramètres contingents ou fixés par l'observateur. Les ruptures les plus frappantes de la science des années 20 sont obtenues par le passage d'une contradiction à une indépendance. Il s'agit donc certes d'une erreur rectifiée (Bachelard), mais la proposition en cause n'est pas devenue absolument fausse, elle est peut-être encore vraie sous certaines conditions, elle est devenue contingente, non universelle. Ainsi avant le couteau suisse, « un couteau ne pouvait pas être aussi une loupe ». Désormais, cette proposition d'est vraie que pour les seuls couteaux classiques.

En mathématiques, l'indépendance joue un rôle important dans les questions de fondements. Paul Cohen est précisément l'auteur de deux des plus importants théorèmes d'indépendance des mathématiques modernes. Car il a montré que l'hypothèse du continu et l'axiome du choix n'étaient ni nécessairement vrais, ni nécessairement faux, dans le cadre de l'axiomatique classique des ensembles⁶. Ils étaient donc indépendants de cette axiomatique. Or, pour obtenir ces résultats Cohen doit les « forcer » : c'est-à-dire, concevoir des extensions du monde des ensembles où ces résultats seront vrais ou faux selon le Forcing utilisé.

L'impact épistémologique du Forcing a été, à quelques exceptions près, peu perçu, et ne l'est encore pas vraiment dans toute son ampleur. Car, il montre de façon opératoire que le dévoilement du réel n'a rien d'un processus par approximations successives, où l'on réduirait à chaque fois les anomalies résiduelles. Le dévoilement de la vérité doit être « forcé » et il est donc dépendant du concept qui sert à construire le forcing. Autrement dit, notre connaissance du monde est irréductiblement dépendante des choix de conception qui organisent la démarche scientifique ! Et même s'il existait une réalité unique et immuable, nous ne pourrions accéder qu'à ce qui est rendu connaissable par les outils de pensée ou matériels que nous sommes capables de « forcer », c'est-à-dire de concevoir.

6 On trouve des démonstrations de ces grands résultats dans les ouvrages avancés de théorie des ensembles. Par exemple: Thomas Jech, *Set Theory*, Springer monographs in Mathematics, 2003.

Il nous faut donc penser l'épistémologie de la nature à partir de l'épistémologie de l'artificiel, de la raison créatrice, et non l'inverse ! Quel est d'ailleurs le réel de tous les objets techniques ? Nous ne le connaissons jamais comme tel, mais uniquement à travers les raisons créatrices – et donc les inconnus désirables – que nous mettrons en œuvre. De même, plus nous sommes capables de créer, plus notre connaissance de la nature s'étendra. Car, plus nous créons plus nous dévoilons des indépendances, donc, des espaces de liberté pour nos désirs ainsi que les extensions correspondantes du réel.

Avec Benoit Weil, et Pascal Le Masson⁷ nous soutenons que le Forcing de Cohen incarne, dans le monde clos de la théorie des ensembles, cette raison créative que nous appelons aussi conception innovante. De façon générale, raisonnement scientifique, raison créative (ou créatrice), et théorie de la conception nous apparaissent comme inséparables et unifiables dans une même épistémologie.

VB : Le progrès de l'esprit scientifique se heurte, selon Bachelard, à des obstacles épistémologiques qui constituent des points de fixation. Le progrès résulte de ruptures non seulement avec le sens commun mais aussi avec la sédimentation d'évidences scientifiques périmées. Bachelard évoque à ce sujet, dans «Le surrationalisme», la nécessité de restituer sa turbulence et son agressivité à la raison. Penses-tu que la création suppose toujours une discontinuité avec la routine et la tradition ?

AH : *La notion d'obstacle épistémologique est évidemment très importante. Cependant, on doit la disséquer un peu pour mieux la relier à la notion de « fixation » qui joue un rôle important en théorie de la conception. Et ce détour, peut nous éclairer sur la variété des formes de création.*

De quelle nature est l'obstacle épistémologique ? Où se situe-t-il ? Prenons l'exemple de la relativité restreinte, même de façon très simplifiée : Einstein ne part pas d'une nouvelle conception du temps qu'il voudrait substituer à l'ancienne. Il ne part pas non plus d'une anomalie de la mécanique classique qu'il faudrait réduire. Son raisonnement est créatif : il se place dans une posture conceptrice et se demande comment deux observateurs se déplaçant l'un par rapport à l'autre pourraient coordonner leurs horloges, donc construire une mesure commune du temps.

Cette question ne s'impose pas d'elle-même ! En outre, elle avait une réponse traditionnelle relativement simple : on supposait que la transmission des signaux était instantanée, ce qui correspond d'ailleurs à l'expérience empirique la plus commune. Pour aller plus loin, Einstein doit donc poser un inconnu désirable et tenter de concevoir « une définition du

⁷ Armand Hatchuel, Pascal Le Masson et Benoit Weil, «Towards an ontology of design: lessons from C-K theory and Forcing», *Research in Engineering Design*, 24 (2), Springer Verlag, 2013, p. 147-163.

temps et de la durée compatibles avec une synchronisation d'horloges en mouvement, et un signal lumineux se déplaçant à une vitesse v ». Dans le cadre de la physique classique, cette proposition n'a pas de statut évident, on peut même soupçonner qu'elle est indécidable. On a là, une première défixation. Elle semble de taille mais il ne s'agit pour l'instant que de revisiter l'identité d'un objet – le temps – par la création d'une chimère à son propos. Cette rupture ne suffit pas à réaliser le forçing recherché. Il faut encore trouver de nouvelles ressources (mathématiques par exemple), découvrir en chemin d'autres notions à réviser (la vitesse de la lumière), conserver tout l'héritage physique possible, avant d'aboutir.

La rupture épistémologique correspond donc à deux grands types de défixation que la théorie de la conception impose de distinguer. D'une part, la révision d'une ou plusieurs notions fixées dans l'état des connaissances initiales ; d'autre part, l'expansion du monde des connaissances initiales. L'idéation nouvelle⁸ est la plus visible et la plus évoquée. Mais elle ne doit pas faire oublier le travail d'expansion des connaissances qui conditionne la signification et la portée de celle-ci. En un mot, la rupture implique à la fois l'originalité des notions inconnues introduites et l'originalité des ressources mobilisées pour y arriver.

La discontinuité est donc toujours nécessaire à la création mais elle prendra des configurations très différentes selon la part du nouveau et de la tradition conservée en ce qui concerne : i) les notions révisées ; et ii) les expansions du monde et des connaissances opérées. Il me semble que si Einstein occupe une place relativement à part, cela tient à ce qu'il a simultanément conduit des ruptures notionnelles très fortes pour la physique, et mobilisé avec brio des moyens mathématiques eux-mêmes inattendus.

VB : Il semble que toute invention fasse inévitablement naître un halo de fictions historiques. Quand on étudie la création de nouveaux objets techniques, on ne peut s'empêcher de songer à ce qui se serait passé (ou n'aurait pas eu lieu) « si... ». En même temps, l'étude des processus créatifs montrent qu'il y a des conditions nécessaires et des facteurs favorables à l'invention, même fortuite, et qu'elle n'est donc pas le fruit du hasard. Par exemple, tu as beaucoup travaillé sur la sérendipité. Que peux-tu nous dire sur la question de la contingence et de la nécessité des inventions que tu as étudiées ?

AH : La notion de sérendipité a beaucoup d'attraits pour nos contemporains. Il est vrai que l'idée « de trouver ce que l'on ne cherche pas » est séduisante. Elle semble faire l'éloge d'une recherche peu intentionnelle et guidée par une attention flottante mais qui resterait suffisamment vigilante pour déceler la valeur d'une trouvaille inattendue. Il y a, me semble-t-il, une part de romantisme dans cette notion. La sérendipité perd beaucoup de son mystère dans le cadre d'une théorie de la conception. En effet, signalons tout d'abord les ambiguïtés de l'expression négative « ce que l'on ne cherche pas ». Quelqu'un qui fait

8 En théorie de la conception on appelle cette opération : « révision de l'identité d'une notion ».

ses courses est-il toujours si sûr de ce qu'il ne cherche pas ? « On a un besoin urgent de sel, on se précipite dans le premier supermarché, et soudain une promotion agressive, un prix jamais vu, réveille notre vieille envie, si longtemps contrariée, d'un vélo. C'est l'occasion ou jamais... ». De fait, la plupart de nos comportements répondent à des objectifs multiples dont la précision est très variable. De plus, mêmes nos actions quotidiennes peuvent nous plonger dans des environnements inattendus et contingents.

Or, si on analyse la recherche scientifique avec l'aide de la théorie de la conception, tous les mécanismes que l'on vient d'évoquer y sont amplifiés. Le halo des fictions historiques ainsi que les « effets de sérendipité » sont nécessaires et inévitables. En effet, la recherche scientifique n'est pas toujours la recherche d'une aiguille bien connue, dans une botte de foin clairement identifiée ! Elle se construit comme raison créative, à partir d'un inconnu désiré. Donc, par nécessité on ne sait pas ce que l'on cherche et on ne le connaît que par une formulation de type « trouver un X , $P(X)$ » mais sans que la définition de X soit assurée et sans que $P(X)$, serait-il limpide, ne fournisse une construction ou une preuve valide de X .

Par ailleurs, l'espace physique et social de travail du chercheur (littérature, modèles, calculs, laboratoires, revues, jugement des pairs...) est partiellement inconnu et lui-même à concevoir. Ces deux prémisses imposent la suite. La construction de X suivra des voies multiples, plus ou moins comprises, plus ou moins assurées, certaines abandonnées pour de multiples raisons oubliées, dont les désaccords du monde académique. En outre, chacune de ces voies est en quête de ressources inattendues (une expérience qui soudain apparaît possible, qui fournit des résultats inintelligibles, un collègue prestigieux qui soutient les résultats...). De façon duale, l'espace de travail évoluera incluant de nouveaux acteurs ou de nouveaux contextes.

Le défi du « double inconnu », celui du concept désiré initial et celui de l'espace de travail, font que par nature la recherche scientifique maximise les chances de l'effet de sérendipité. Ce que la vision romantique prend pour un mystérieux hasard est l'un des événements les plus prévisibles de tout raisonnement dans l'inconnu, donc au sein de toute recherche. Le chercheur scientifique ne trouve nécessairement que ce qu'il ne cherchait pas puisqu'il ne peut savoir à l'avance ce qu'il cherche ! En revanche, et là encore on est loin du romantisme épistémologique, l'effet de sérendipité ne bénéficiera qu'à ceux qui maîtrisent les logiques de la raison créative, ceux qui peuvent reconnaître la trouvaille ou l'anomalie inattendue ! Pasteur a déjà dit cela beaucoup mieux : « la chance ne sourit qu'aux esprits préparés ».

VB : L'enjeu de la transmission historique d'un « sens de l'avenir », comme le fut et le sera peut-être à nouveau le surrationalisme, est au cœur de mes préoccupations en tant que philosophe et passeur de connaissance. Dans tes propres enseignements, tu insistes sur la nécessité d'acquérir une culture de l'exploration de l'inconnu.

De manière surrationaliste, Dennis Gabor a écrit (*Inventing the Future*) qu'il est impossible de prédire l'avenir mais qu'on peut inventer des futurs. Quelles seraient les pistes que tu voudrais explorer pour développer une pédagogie rationnelle de la créativité?

AH: *La notion de « créativité » doit être interrogée comme nous le faisons dans nos travaux communs. En l'examinant épistémologiquement, philosophiquement et formellement. Au plan épistémologique, il faut noter que, tout au long du XX^e siècle, la créativité est restée une discipline anglo-saxonne qui ressortait uniquement de la psychologie. On n'étudie pas ses présupposés, ses conditions de possibilité, ni ses interprétations formelles. On se limite à créer des indicateurs de créativité permettant de classer les idées émises par des sujets. Les tests de créativité seront diffusés par des instituts spécialisés, et veulent rendre visible ce que les tests d'intelligence ne montrent pas: l'existence d'une capacité créative très variable d'un individu à l'autre et qui n'est que faiblement corrélée au test du QI. On a bien sûr cherché à expliquer cette variabilité, ou a contrario à identifier des facteurs favorisant une meilleure créativité chez des individus ou des groupes. Mais ce courant de recherches s'est, semble-t-il, enlisé dans les années 1990. Paradoxalement, cet enlissement a coïncidé avec une demande sociale sans précédent de créativité, qui est symptomatique du régime de création contemporain. Là, nous nous sommes aperçus que la théorie de la conception offrait un cadre formel permettant aussi de repenser plus rigoureusement le phénomène créatif. Toujours à partir des notions déjà évoquées d'inconnu, de défixation, de forcing et d'expansion. Une nouvelle perspective psychologique devenait même possible et des chercheurs de notre équipe ont pu la développer avec des spécialistes comme Olivier Houdé et Mathieu Cassotti?*

Enfin, je te rejoins tout à fait, car nous pouvons travailler à un abord philosophique renouvelé de la question de l'avenir, en tirant parti des enseignements de la théorie de la conception. Et plusieurs travaux confirment la fécondité de l'approche. En effet, en repartant de la notion d'inconnu désirable on remet en selle le sujet et une nouvelle manière de penser sa capacité d'agir et son futur. Ce sujet, naît avec la prise de conscience qu'il doit désirer et « forcer » l'avenir qu'il souhaite. Pour autant, il ne peut « forcer le destin ». Il n'est pas le demiurge du futur. Ce qu'il désire est un inconnu et ce qu'il pourra concevoir est nécessairement inattendu et dépend de l'extension du monde. À cet égard, tout le passé - histoire ou savoir accumulé - est une ressource potentielle dans la construction des actes et de gestes créateurs d'avenir. Avec une « limite » nécessaire: le passé ne suffira pas. Le sujet a besoin d'étendre ce qu'il connaît et provoquer une expansion du monde pour qu'une partie de l'avenir désiré puisse éclore.

9 Agogué, M., Kazakçi, A., Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., Poirer, N., & Cassotti, M. (2014). «The impact of type of examples on originality: Explaining fixation and stimulation effects», *The Journal of Creative Behavior*, n° 48, p. 1-12.

Au fond, on retrouve une idée analogue à celle de Bachelard lorsqu'il soutient que le surrationalisme de la science était la seule philosophie capable de penser son propre renouvellement. Je pense, de même, que la théorie de la conception parce qu'elle raisonne à partir de l'inconnu et de l'expansion qu'il appelle, est la seule philosophie capable de penser un sens de l'avenir ou du progrès qui ne soit pas passif, parce qu'elle s'appuie sur le désirable, et qui ne soit pas capturé par les schémas totalisateurs, sacrés ou laïcs, de l'histoire.

En matière pédagogique, la démarche s'est imposée à nous. Nos cours construisent deux cheminements convergents :

- *Celui qui va de la créativité, comme donnée psychologique à la construction du raisonnement créatif.*
- *Celui qui part du rationalisme classique (modélisation, expérimentation, optimisation dans l'incertain) pour aller vers la rationalité propre au raisonnement dans l'inconnu.*

La théorie de la conception unifie les deux approches dans un même formalisme. L'expérience de ces enseignements, aujourd'hui répétée sur des milliers d'étudiants, confirme notamment son important impact épistémologique.

VB : Bachelard écrivait, à la fin de la *Formation de l'esprit scientifique*, que « pour déplacer un objet d'un dixième de millimètre, il faut un appareil, donc un corps de métiers. Si l'on accède enfin aux décimales suivantes, si l'on prétend par exemple trouver la largeur d'une frange d'interférence et déterminer, par les mesures connexes, la longueur d'onde d'une radiation, alors il faut non seulement des appareils et des corps de métiers, mais encore une théorie et par conséquent toute une Académie des Sciences. » Ce couplage des institutions et des instruments de mesure est un point crucial de certains de tes travaux sur le progrès des organisations et des techniques. Pourrais-tu en dire quelques mots ?

AH : *La leçon de Bachelard reste plus que jamais actuelle. Avec la montée en puissance de la raison créative/créatrice, depuis 150 ans, il y a bien sûr un monde organisationnel, social et politique qui s'est outillé pour la rendre possible. La citation de Bachelard semble évoquer le cheminement qui va des corporations de métiers à l'ère moderne où universités et académies sont les garantes de la science. Mais on ne doit pas oublier d'y ajouter tout l'appareillage gestionnaire (juridique, administratif et normatif) qui a été indispensable, et qui a donné naissance à l'État et aux entreprises. D'ailleurs, chaque innovation de rupture se heurte aux fixations de cet appareillage et appelle l'invention de nouveaux outils de gestion, donc de nouvelles logiques institutionnelles.*

Il y a donc une interrogation du politique ou de la philosophie politique qui est inséparable de la théorie de la conception et de l'épistémologie de la raison créative. Comment peut-on partager des « inconnus désirables » ? Comment fait-on pour que l'inconnu ne soit pas la source d'angoisses paralysantes ou de déséquilibres injustes ? Nous travaillons beaucoup sur ces questions et nous devons mieux comprendre ensemble, comment introduire la raison créative dans la théorie politique.

VB : Enfin, s'il y avait aujourd'hui, pour toi, une expression qui porterait les mêmes ambitions émancipatrices pour la raison que le surrationalisme de Bachelard naguère, quelle serait-elle ?

AH : *Il y a plusieurs expressions qui indiquent les renouvellements et les extensions à conduire. Je suis convaincu qu'il faut inscrire la théorie de la connaissance dans une théorie de la conception qui la contienne et qui permette de se débarrasser de la distinction entre invention et découverte. Elle perpétue la vieille distinction nature/culture, pourtant à juste titre mise à mal ailleurs. Il me semble urgent de passer d'une théorie du progrès à une théorie de l'inconnu désirable, du forçage et de l'expansion. Mais, si je ne devais garder qu'une seule expression et qui s'inscrive dans la généalogie du surrationalisme, ce serait évidemment « raison créative » (et « créatrice »), au cœur de nos discussions.*

J'ajoute néanmoins que ce n'est pas, à mes yeux, la plus juste. Je crois que « raison conceptrice » (et conceptive, si l'on veut indiquer la même dualité) est plus rigoureuse, car elle évite toute ambiguïté sur la valeur du passé. La notion de création, impose de préciser, de manière répétée, voire fastidieuse, que l'on ne peut pas créer sans passé, sans mémoire, à partir de rien. Cette précaution est inutile pour la raison conceptrice.

Que l'on retienne raison créative/créatrice ou raison conceptrice, il importe surtout de rappeler que cette raison est différente de la raison critique qui a été la clé de voûte du rationalisme classique. La raison créative/créatrice contient la raison critique, mais elle ne s'en déduit pas ! La raison critique est l'instrument de la recherche autonome de la vérité. De la lutte contre le dogme et contre le pouvoir illégitime ou oppresseur. Elle s'appuie sur le principe de non-contradiction et favorise l'argumentation contradictoire. Mais si la raison conceptrice a besoin de la raison critique comme instrument, elle ne peut se déployer sous son joug. La raison conceptrice a besoin d'un monde où la raison critique est laissée au choix du concepteur. Il doit pouvoir décider quand elle est féconde et quand elle ne l'est pas. Il faut par conséquent que le principe de non-contradiction soit indépendant des prémisses de la raison conceptrice. C'est à cette condition que le futur peut être désirable et doté d'une indéniable fraîcheur.