

COURS A : Véracité et raison
LEÇONS APRÈS PÂQUES
1 : LE LABORATOIRE

Penser le laboratoire, penser au laboratoire

- Récapitulation
- L'exploration et la mesure
- La modélisation analogique
- La combinaison des styles 2 et 3 chez Crombie
- La méthode hypothético-déductive
- Le style galiléen
- Une analyse moins empiriste
- Le laboratoire
- L'icône du laboratoire
- Le vide comme entité théorique, non observable

Le Laboratoire comme forme de vie

- Des formes de vie
- Le rôle des appareils
- « Qu'est-ce qu'une expérience ? »
- Des phénomènes artificiels
- Des sociétés scientifiques – pour l'élite
- La pompe comme icône du laboratoire
- Retour au vide
- La création des phénomènes
- La fourmi, l'araignée et l'abeille

1 (i). PENSER LE LABORATOIRE, PENSER AU LABORATOIRE

Récapitulation

Je rappelle la liste des six styles de raisonnement scientifique chez Crombie :

1. La méthode par *postulats* et dérivation des conséquences en mathématiques.
2. L'*exploration* et la mesure expérimentale de relations observables plus complexes.
3. La construction par hypothèse de *modèles analogiques*.
4. La mise en ordre du divers par la comparaison et la *taxonomie*.
5. L'analyse statistique des régularités dans les populations et le calcul des *probabilités*.
6. La dérivation historique propre au développement *génétique*.

J'ai parlé du « dynamisme » des styles de pensée. Chaque style connaît des évolutions qui se déroulent sur plusieurs siècles. Au cours de la vie de Descartes, les mathématiques sont devenues une combinaison du style démonstratif de la géométrie et du style algorithmique de l'algèbre. Les « icônes » qui incarnent l'origine de ces deux sous-styles sont Thalès et Al-Kwarizmi, dont on sait peu de choses. Ce sont des icônes à demi mythique et à demi historique.

Aujourd'hui je parlerai d'une évolution des styles 2 et 3, qui mène à ce que j'appelle le style du laboratoire. Dans la troisième leçon, qui portait sur les méthodes de raisonnement, j'ai indiqué que l'institution du laboratoire a changé la conception de ce que c'est de dire la vérité, à la fois pour les expériences et pour les modèles analogiques. Le laboratoire est un lieu consacré à la véracité.

La vérité, pour Williams, pour moi, est un concept formel, dépourvu d'histoire. L'idée de véracité concerne quelqu'un qui dit la vérité. Il n'est possible de dire la vérité qu'en un point défini dans l'espace et le temps. C'est à dire dans une société, dans l'histoire (ou dans le présent). La véracité d'un sujet donné a une histoire, et donc une généalogie. Ici, je m'inspire du livre de Bernard Williams. *Truth and Truthfulness*. La traduction française, *Vérité et véracité : Essai de généalogie*, est annoncée chez Gallimard.

J'ai soutenu depuis le début du cours que l'introduction de chacun des styles de Crombie a créé la possibilité de dire des vérités nouvelles. J'ai adapté cette idée et je l'ai étendue à partir des thèses de Bernard Williams. J'ai proposé trois schémas :

(*) Un changement de conception de ce que c'est que dire la vérité sur X

(**) Ce changement significatif s'est produit au Y^{ème} siècle et son icône est Z.

(***) Ceux qui opèrent selon le nouveau style ne sont pas plus rationnels ou mieux informés que leurs prédécesseurs. Ceux qui en restaient à la pratique traditionnelle n'avaient ni les idées confuses ni des convictions contraires (à cet égard) à celles de leurs successeurs.

Williams a proposé deux illustrations que je trouve convaincantes. La première est tirée de l'histoire. L'icône qu'il se choisit est Thucydide, parce qu'il soutient qu'au temps de Thucydide, il s'est produit *un changement essentiel des conceptions de ce que c'est que dire la vérité sur le passé* – voilà le schéma (*). Avec X = le passé.

Pourquoi Thucydide ? Parce que l'œuvre de Thucydide est un récit dans laquelle chaque incident a lieu avant, après, ou en même temps que chaque autre événement qu'il décrit. Une chronologie raisonnée, pour ainsi dire, et qui implique que les événements antérieurs sont en quelque façon les causes des événements postérieurs. Williams soutient que dans la tradition occidentale, on ne trouve pas trace de cette conception du passé avant Thucydide. La question qui m'occupe n'est pas de savoir si Williams a raison. Je m'en sers comme d'un modèle pour l'usage des schémas en étoile.

L'exploration et la mesure

Je voudrais rappeler un point que j'ai évoqué dans la leçon 3 sur les méthodes de raisonnement. Il concerne le style (2), l'exploration :

2. *L'exploration* et la mesure expérimentale de relations observables plus complexes.

Je crois que l'exploration est aussi vieille que l'homme lui-même. Quant à la *mesure*, elle doit avoir commencé à la préhistoire ou en tout cas très tôt dans l'histoire. L'idée courante est qu'il doit exister une histoire continue de progrès et de découvertes, en ce qui concerne les manières de mesurer. On imagine que les hommes ont très vite utilisé leur corps pour mesurer les choses. D'où ces unités de mesure empruntées au corps. La coudée, qui mesure la distance qui va du coude au majeur, et qu'on évalue à 50 cm. Le pied. Le pouce comme mesure de longueur. Par convention, il valait un douzième de pied.

J'accepte, avec un peu d'ironie, la naissance de l'histoire, qui apparaît avec Thucydide, selon Williams. J'ai proposé d'autres actes de naissance : celui de la preuve géométrique, avec Thalès ou un autre personnage emblématique, comme chez Kant. Pour l'invention du raisonnement algébrique, mon icône est Al-Kwarizmi. Mais je trouve absurde l'idée d'un début ou d'une invention de l'exploration expérimentale et de la mesure. Par conséquent, je n'applique pas les trois schémas à l'exploration ou à la mesure.

La modélisation analogique

J'ai été plus audacieux – ou peut-être moins avisé – dans le cas du style 3 :

3. La construction par hypothèse de *modèles analogiques*.

Pour la modélisation hypothétique, le point essentiel est qu'il y a dans les modèles des objets et des structures en principe inaccessibles à l'observation. C'est toute la force de cette formule : « par hypothèse ». On pense aux atomes de Démocrite et de Leucippe. J'ai trouvé dans un aphorisme de Héraclite la devise de ce type de raisonnement : « La Nature aime à se voiler ». J'ai fait la suggestion – pas absolument sérieuse – que le troisième style aurait commencé à l'époque des philosophes présocratiques, et j'ai pris pour icône Héraclite.

Quand X = les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation,

Y = le cinquième siècle av. JC, et Z = Héraclite.

(**) Ce changement significatif s'est produit au cinquième siècle av. J.C., et son icône est Héraclite.

Karl Popper considère que les modèles présocratiques relèvent de la métaphysique, pas de la science : en effet, il n'est possible ni de les prouver ni de les réfuter. Pour les positivistes, c'est une critique, voire une condamnation. Pas dans la philosophie de Popper. Pour lui, des propositions métaphysiques, pleines d'imagination et d'innovation, peuvent représenter des ouvertures pour la science, qui suppose le jeu des conjectures et des réfutations. Pour un poppérien d'aujourd'hui, la théorie des cordes relève de la métaphysique. Parce qu'il n'existe aucun test empirique permettant de la mettre à l'épreuve. Ce n'est pas une mauvaise chose, selon Popper, dans la mesure où l'on a toujours besoin de théories « métaphysiques ». Mais on a aussi l'obligation de les traduire en des propositions susceptibles d'être soumises à des épreuves empiriques. Les atomes sont nés dans la métaphysique des présocratiques, mais ils ont évolué et sont entrés dans des propositions qu'on a pu mettre à l'épreuve. Aujourd'hui, on les manipule utilisant par exemple la microscopie électronique à effet tunnel. Ou bien on les refroidit jusqu'à des températures très basses, l'ultrafroid, où leur énergie atteint des valeurs très basses et où ils deviennent très lents, ce qui permet de les manipuler plus facilement.

Dans cette perspective, nous n'avions pas la possibilité à l'époque présocratique de dire la vérité sur ces objets et ces structures en principe inaccessibles à l'observation. Il n'y avait aucune possibilité de mise à l'épreuve ou de réfutation. Nous ne pouvons pas dire qu'il y a eu dans l'antiquité,

(*) Un changement de conception de ce que c'est que dire la vérité sur les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation.

Peut-être y a-t-il un changement de conception de ce que c'est qu'*affirmer* des propositions sur les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation. Mais on manque de critères pour dire si ces spéculations sur la nature fondamentale du monde, de la réalité elle-même, sont vraies ou fausses. Ce ne sont que de puissantes images du monde, que nous

n'avons pas les moyens d'établir solidement sur des critères indépendants de la rhétorique et de la séduction de l'imagination.

La combinaison des styles 2 et 3 chez Crombie

Notre première tentative de trouver un commencement au style 3 est donc un faux départ. Crombie lui-même, dans le deuxième tome de son ouvrage (p. 1087 !), écrit que :

L'ambiance intellectuelle et artistique particulière de l'Europe moderne à ses débuts installa la méthode (3), la modélisation hypothétique, comme une *combinaison* scientifique particulièrement efficace d'exploration théorique et expérimentale.

À la différence de la méthode qu'il emploie pour les autres styles, Crombie ne commence pas son explication du style 3 dans le monde antique et la civilisation grecque. Il commence dans « l'Europe moderne à ses débuts » – c'est-à-dire, selon Crombie, un peu avant Galilée, bien sûr, mais pas dans le monde des atomistes grecs. Plus intéressant, Crombie parle d'une *combinaison* : implicitement une combinaison des styles. Il invoque son style (2), c'est à dire « L'exploration et la mesure expérimentale de relations observables plus complexes ». On voit que ses styles ne sont pas sans rapports. Au contraire, la compréhension correcte du style (3) inclut ce qu'il appelle l'exploration expérimentale.

Un point clé est que cette combinaison ne remonte pas systématiquement au monde ancien. Selon Crombie, elle ne s'est pas mise en place avant le début de l'Europe moderne. C'est à cette époque qu'on doit rechercher

(*) Un changement de conception de ce que c'est que dire la vérité sur les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation.

À quelle date faut-il situer ce changement ? Quel scientifique emblématique peut-on proposer comme icône de ce changement ? Chez Husserl, on peut dire que l'icône doit être Galilée (1564-1642). Mais on peut objecter qu'on n'a pas besoin ici de Galilée. Tout ce dont on a besoin, c'est de la méthode dite hypothético-déductive, qui ne requiert pas le génie d'un Galilée. Il faut répondre à cette objection.

La méthode hypothético-déductive

Nous voilà donc renvoyés à ce que, dans les manuels de philosophie des sciences, on appelle la méthode hypothético-déductive. Elle est au cœur de la philosophie empiriste du XX^{ème} siècle. On fait des hypothèses ou conjectures, qui contiennent des références aux objets non-observables. On en déduit des conséquences observables, souvent sous la forme d'une proposition conditionnelle, « Si les circonstances C sont réunies, alors le résultat R se produit ». Quand les circonstances C sont réunies, on fait des observations. Si le résultat R ne se produit pas, l'hypothèse est réfutée. Si on observe le résultat R, alors elle est confirmée ou vérifiée (chez les empiristes et les positivistes) ou corroborée (chez Karl Popper).

Souvent les circonstances C ne sont pas simplement données. Il faut produire les circonstances au cours d'une expérience, et observer si le résultat R se produit. Cette méthode est au cœur d'une bonne partie de la philosophie des sciences traditionnelles. À mon avis, la théorie philosophique de cette méthode est tout à fait simpliste et ignore les réalités complexes de la vie expérimentale. Mais sa simplicité la rend transparente.

Remarquons deux choses. Premièrement, la méthode ne fait aucune référence aux objets et structures en principe inaccessibles à l'observation. Reprenons l'exemple de la leçon 3. Il y a de petits bruits dans le grenier. Hypothèse proposée : « Il y a des souris dans le blé ». On dispose alors des morceaux de fromage dans une boîte percée d'un petit trou pas plus large qu'un pouce. « Si les circonstances C sont réunies, alors le résultat R se produit ». Circonstances C : il y a du fromage dans une boîte avec un petit trou. On réalise ces circonstances ; c'est une expérience. Le résultat prédit (R) est le suivant : les morceaux de fromage auront disparu dans la nuit. Si au matin le fromage a disparu, on conclut qu'il s'agit bien des souris. Mais si le fromage est toujours là, le bruit doit avoir une autre cause – un cambrioleur, peut-être ?

Deuxièmement, je suis convaincu que cette méthode de raisonnement n'est pas nouvelle. La question n'est pas de lui trouver des origines grecques, égyptiennes ou babyloniennes. Elle n'est pas spécifique à la tradition européenne étudiée par Crombie. La formulation moderne que j'ai utilisée – avec les conditions C, les résultats R, et la proposition conditionnelle – est sans doute d'origine récente, mais je serai très étonné qu'un anthropologue se mette un jour à soutenir qu'il existe une peuplade ou une tribu, quelque part dans le monde, qui ne raisonne pas de cette manière sur les bruits ou sur quoi que ce soit d'autre. Je pense que la méthode hypothético-déductive est une méthode de raisonnement universelle. Ce n'est pas une invention faite au début de l'Europe moderne, ce n'est pas la combinaison des styles 2 et 3.

Le style galiléen

Je voudrais défendre l'idée que la combinaison des deux styles se fait en deux étapes : le style galiléen et le style du laboratoire. J'ai emprunté le nom de « style galiléen » aux lecteurs de Husserl. Noam Chomsky, le plus grand théoricien de la grammaire, parle du « style galiléen du raisonnement en physique, à savoir, faire des modèles abstraits et mathématiques de l'univers ». Selon lui, il est nécessaire d'employer ce style pour établir les fondements de la grammaire universelle. Il renvoie à des propos du cosmologiste Stephen Weinberg, qui pense qu'il n'y avait aucune raison *a priori* d'anticiper que le style galiléen marcherait bien – or il marche avec un succès formidable.

Galilée est la grande figure du dernier livre de Edmund Husserl, *La Crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale*, de 1936. A ce propos, j'attire votre attention sur un beau petit livre récent de François de Gandt, *Husserl et Galilée*¹. Je note que Husserl ne parle jamais du style galiléen, du moins pas exactement en ces termes. À mon idée, cette expression de « style galiléen » que l'on prête à Husserl est une création spontanée qui s'est produite dans « Harvard Square », la cour de l'université de Harvard, vers 1975. Elle est née des discussions entre un grand historien des sciences, I. B. Cohen, un grand théoricien de la grammaire, Noam Chomsky, et un cosmologiste célèbre, prix Nobel, Steven Weinberg. Une parenté plutôt distinguée.

Ce n'est pas une coïncidence si, parmi les scientifiques de haut niveau, les champions du style dit « galiléen » sont Chomsky et Weinberg. Chomsky a élaboré de grandes théories sur la grammaire, un domaine où il n'est pas possible de faire des expériences au sens ordinaire. Il en va à peu près de même pour Weinberg, pour des raisons différentes. Weinberg est cosmologiste. Il est populaire notamment à cause d'un livre de vulgarisation, *Les Trois*

¹ François De Gandt, *Husserl et Galilée. Sur la Crise des sciences européennes*, Vrin, 2004.

*premières minutes de l'univers*². On ne fait pas d'expériences sur les trois premières minutes de l'univers. J'exagère un peu : Weinberg est un spécialiste de physique théorique, qui a écrit notamment *Le Monde des particules : de l'électron aux quarks*³. C'est dans des laboratoires gigantesques et très coûteux, comme le CERN à Genève, qu'on fait des expériences qui corroborent l'hypothèse des quarks. Ce sont des entités appartenant à ce que les physiciens appellent le modèle standard. Ce sont de bons exemples d'entités en principe inaccessibles à l'observation. Néanmoins, il est bien naturel que ni Chomsky le grammairien, ni Weinberg le cosmologiste, ne disent rien sur le laboratoire, parce qu'il n'y a pas de laboratoire de grammaire ou de cosmologie.

« Faire des modèles abstraits », dit Chomsky à propos du style galiléen. Husserl mettait l'accent non pas sur l'abstraction mais sur l'aspect mathématique de Galilée, qui pensait le monde comme le livre écrit par Dieu en langage mathématique. Dans cette perspective, le nom de Galilée s'imposait pour Weinberg comme pour Chomsky.

Crombie met l'accent sur les modèles hypothétiques. Les modèles de Weinberg et Chomsky – et de Galilée – sont vraiment des hypothèses. Crombie s'occupe aussi, à juste titre, de la mise à l'épreuve des hypothèses. Ce qui manque aux modèles analogiques des atomistes grecs, c'est d'être mis à l'épreuve. Pour Popper, ils relèvent de la métaphysique. C'est la combinaison des styles 2 et 3 qui rend possible la mise à l'épreuve. On a besoin d'épreuves, de corroborations et de réfutations des modèles. On utilise donc la méthode hypothético-déductive. On *observe* si le résultat R se produit dans les circonstances C.

Rappelons les rapports, dans la structure proposée par Crombie, entre style et méthode :

Nous pouvons établir dans le mouvement scientifique classique une taxinomie de six *styles de pensée scientifiques* [...], distingués par leurs *objets* et leurs *méthodes de raisonnement*.

Dans le style galiléen, au sens de Crombie et Weinberg, les *objets* typiques sont des structures et des entités qui sont en principe inaccessibles à l'observation. La *méthode* paradigmatique est la méthode hypothético-déductive.

Crombie n'est pas le seul à penser en termes de combinaison. Quand il mentionne le « style galiléen », l'historien des sciences I. B. Cohen parle d'un style « newtonien »⁴. C'est une façon de combiner « deux niveaux d'ontologie », l'un mathématique, l'autre mesurable. Deux niveaux, en combinaison. Rappelons que le style 2 de Crombie est « L'exploration et la *mesure expérimentale* de relations observables plus complexes. » Il n'importe pas, de mon point de vue, que l'on parle de la combinaison des niveaux ontologiques ou des styles de pensée. Crombie et Cohen visent le même phénomène.

Une analyse moins empiriste

Jusqu'ici, tout ce que j'ai dit trouve sa place dans la philosophie des sciences traditionnelle du milieu du vingtième siècle. Je parle du moment où le positivisme logique, l'empirisme et Karl Popper connaissaient leurs jours de gloire. Je passe maintenant à un

² Paris : Éditions du Seuil, 1978. (*The First Three Minutes : A Modern View of the Origins of the Universe*, New York: Basic Books, 1977.)

³ Paris: Pour la Science, 1985. (*The Discovery of Subatomic Particles*, New York: Scientific American Library, 1983.)

⁴ Voir la note 6 de la leçon 3 de ce cours.

problème plus approprié au siècle nouveau qui est le nôtre : repenser le laboratoire. Repenser quelques événements de la révolution scientifique. Mais ce qui va suivre n'est pas si récent qu'on pourrait le penser. J'ai une raison personnelle de dire cela. L'idée de « la création des phénomènes dans le laboratoire » fait partie intégrante de mon analyse. Or c'est une idée que j'ai introduite dès 1983, dans mon livre *Concevoir et expérimenter*.

Mais il y a deux raisons moins personnelles. Premièrement, c'est le philosophe Thomas Hobbes (1588-1679) qui a mis l'accent sur la création des phénomènes. Son opinion sur le sujet était beaucoup moins favorable que la mienne. La création des phénomènes lui faisait peur. Deuxièmement, ma source principale est un livre publié peu après le mien, vers la fin du siècle dernier. Il est intitulé, en français, *Léviathan et la pompe à air : Hobbes et Boyle entre science et politique*⁵. C'est la traduction d'un livre de 1985, *Leviathan and the air pump : Hobbes Boyle and the experimental life*⁶ sous-titre que l'on peut traduire ainsi : *Hobbes, Boyle et la vie expérimentale*. Les sous-titres sont très différents en anglais et en français : « entre science et politique » n'est pas la même chose que « la vie expérimentale ». Il me faudra expliquer l'importance de ces sous-titres.

Les auteurs de ce livre passionnant sont Simon Schaffer et Steven Shapin. On les considère souvent comme des sociologues des sciences, mais je préfère les appeler des historiens de la science – la science dans son contexte social et intellectuel. Il s'agit d'une histoire externe des sciences, mais qui témoigne d'une très grande compréhension du contenu des sciences qu'ils étudient. Steven Shapin a poursuivi ces études dans son livre, *Une histoire sociale de la vérité*⁷. Pour ma part, j'aurais légèrement modifié ce titre. La vérité en effet, chez Williams, chez moi, n'a pas d'histoire – sociale ou non. Pour moi, Steven Shapin a écrit, avec beaucoup de brio et d'imagination, une histoire sociale de la *véracité* au 17^{ème} siècle. Simon Schaffer poursuit dans cette veine radicale, et aborde l'histoire des sciences physiques dans la période qui va de Boyle à la fin du dix-neuvième siècle.

Le laboratoire

Le mot même de « laboratoire » nous est très utile. Les dictionnaires nous apprennent que le mot français ne remonte qu'à 1620. En anglais on le trouve un peu plus tôt, 1605. C'est donc un bon mot pour un événement qui se passe au « début de l'Europe moderne », pour reprendre la formule par laquelle Crombie caractérise le moment où les styles 2 et 3, selon lui, se sont combinés.

Je suis assez satisfait de la définition qu'on trouve dans les dictionnaires. Celle de *Robert* n'est pas, à mon avis, la meilleure : « Local spécialement aménagé pour faire des expériences, des recherches, des préparations scientifiques ». Aménagé comment, avec quoi ? Dans *Le Trésor de la langue française*, on trouve :

Local pourvu des installations et des appareils nécessaires à des manipulations et des expériences effectuées dans le cadre de recherches scientifiques, d'analyses médicales ou de matériaux, de tests techniques ou de l'enseignement scientifique et technique.

⁵ Éditions la découverte, Paris, 1993.

⁶ Princeton: Princeton University Press, 1985.

⁷ *A Social History of Truth : Civility and Science in Seventeenth Century England*, University of Chicago Press, 1994. Voir aussi, *La révolution scientifique*, Flammarion 1998. (*The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, 1996.)

J'aime beaucoup ces mots *manipulations* et *appareils*. Le titre original de mon livre *Concevoir et expérimenter* était *Representing and Intervening*. Le deuxième terme était *Intervening*. *Intervenir*, c'est assez précis et c'est assez proche de *manipuler*. Pour moi, les appareils sont essentiels au laboratoire, essentiels pour la création des phénomènes autant que pour la mesure et les autres buts du laboratoire. À mon avis, le héros du livre de Shapin et Schaffer, *Léviathan et la pompe à air*, n'est pas Robert Boyle, ce n'est pas non plus Thomas Hobbes. C'est la pompe à air, c'est l'appareil lui-même.

Le mot « laboratoire » remonte au latin médiéval, *laboratorium*, le local, souvent secret, d'un alchimiste. Les mots français et anglais ont émergé au siècle de Francis Bacon, René Descartes, Galilée, et Robert Boyle. Shapin et Schaffer racontent la naissance de la science expérimentale. Ils disent que le « laboratoire » s'opposait au cabinet des alchimistes en ce qu'il était un espace public » (p. 61). Mais en réalité, ce n'était pas un lieu vraiment ouvert à tous les publics. Hobbes se plaignait que seule une élite triée sur le volet pouvait accéder aux laboratoires et aux démonstrations des sociétés savantes.

Shapin et Schaffer nous renvoient au soi-disant « laboratoire universel » créé à Londres en mai 1654, et à une liste des laboratoires « ouverts » installés à Londres dans les années 1650 et 1660 (p. 355). Mais le souvenir des alchimistes persistait et longtemps, le laboratoire type est resté un laboratoire de chimie dans lequel, même au temps de Lavoisier, on trouvait plus de substances que d'appareils ou des d'instruments.

Pour moi, le laboratoire est habité par le public (restreint, selon Hobbes), mais aussi par les instruments, les appareils. Marc Kirsch m'a demandé quelle différence je faisais entre instruments et appareils. Je n'y ai pas réfléchi très scrupuleusement. J'ai découvert que la question demandait une analyse profonde qui dépasse mes capacités. Je la laisse aux auditeurs en guise d'exercice. Voici simplement le verdict du *Grand Robert* [cf. le tableau *Noms des Instruments*, à l'entrée « instrument », et le tableau *Noms d'Appareils* à l'entrée « appareil »]. Je suis heureux de constater qu'une pompe – et donc la pompe à air – est un appareil et pas un instrument.

Mais attention : les instruments ou appareils d'aujourd'hui ne sont pas simplement des machines, des objets faits de plastique, de métal, de verre. Beaucoup d'instruments sont des êtres vivants, comme les rats norvégiens, ou des dérivés de la vie, comme les cellules ou les segments d'ADN.

L'icône du laboratoire

Mes schémas à étoiles sont très faciles à remplir quand il est question du laboratoire. J'ai précisé que le choix d'une icône n'est pas une question de vérité : c'est le choix du mythe que l'on préfère. Il y a toujours une part d'ironie quand je parle de mes icônes. Bien sûr il y a des laboratoires avant Robert Boyle. Il y a d'autres grands hommes et d'autres grands noms. Galilée lui-même a construit un appareil extraordinaire pour étudier le mouvement et l'accélération sur un plan incliné. On pense aussi à Torricelli. Mon mythe favori, c'est celui de Robert Boyle et de la pompe à air, en 1660. Mais je m'occupe d'un problème très lié aux controverses qui ont agité la philosophie des sciences dans les années 1980, et qui se poursuivent aujourd'hui avec presque la même vigueur. Il s'agit des débats sur le réalisme scientifique, qui concerne les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation. Les soi-disant « entités théoriques ».

La pompe à air est un appareil qui sert à démontrer l'existence du vide. On n'observe jamais le vide ! Du temps de Boyle, beaucoup de gens, et notamment Thomas Hobbes,

niaient la possibilité de l'existence du vide. Les Anglais aiment le vide, mais Hobbes est du côté des physiciens de l'Europe continentale. Descartes : « *il ne peut y avoir aucun espace entièrement vide.* » La nature, dit-on, a horreur du vide. Mais sur le continent, on pense qu'elle n'a pas seulement horreur du vide : elle ne permet jamais le vide. Le concept du vide n'a pas de sens.

Nous reviendrons sur la question du vide, mais il faut en dire un peu plus sur le style du laboratoire. Quel doit être le changement de conception de ce que c'est que dire la vérité sur les « entités théoriques », c'est-à-dire les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation ? Ce n'est pas simplement qu'on conçoit des modèles analogiques et qu'on utilise la méthode hypothético-déductive pour les corroborer ou les réfuter. Le changement de conception se traduit par le fait qu'on utilise les appareils dans le but de purifier ou même de créer des phénomènes qui n'existent pas à l'état pur dans la nature telle qu'on peut l'observer. Boyle a produit un vide dans une grande bouteille. Presque toutes les bouteilles dans le monde, jusqu'à ce moment de l'histoire, étaient pleines d'air. Mais pas toutes. Il y a eu des expériences à Magdeburg, avec une sphère formée de deux hémisphères séparables. Quand on aspire avec une pompe l'air qui se trouve dans la sphère, deux paires de chevaux attelés de chaque côté n'ont pas la force de séparer les deux hémisphères. Il y a eu le vide barométrique de Torricelli. Le choix d'une icône comporte toujours une part de subjectivité. Mon choix, c'est Boyle.

Pourquoi Boyle ? Plus tard, je suggérerai que l'icône doit être la pompe à air plutôt que l'homme Robert Boyle. Mais pourquoi ce choix, qu'il s'agisse de l'homme ou de l'appareil ? Il y a une raison pratique : l'existence de ce livre passionnant qui est, à plusieurs égards, une source parfaite de réflexion sur le laboratoire. Le livre de Simon Schaffer et Steven Shapin offre en effet un panorama sans pareil sur cette question. Mais aussi à cause d'un texte de Hobbes qui démontre qu'à l'époque de Boyle quelqu'un – Thomas Hobbes – a reconnu que Boyle et ses collègues ont introduit un changement de conception de ce que c'est que dire la vérité. Plus exactement, ce changement de conception a suscité ses craintes. Il exprime deux motifs de crainte. L'un est la création des phénomènes. L'autre est un changement social : il a peur que la vérité des expériences ne soit pas ouverte à tous, mais réservée à une communauté de privilégiés – dans le cas de Boyle, les membres de la nouvelle Société royale de Londres.

Ainsi je propose un deuxième changement de conception de ce que c'est que dire la vérité sur les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation. Quand X = les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation, Y = le 17^e siècle, et Z = Robert Boyle (1626-1691), nous avons :

(*) Il y a un changement fondamental de conception de ce que c'est que dire la vérité sur les objets et les structures en principe inaccessibles à l'observation.

(**) Ce changement significatif s'est produit au milieu du 17^e siècle, et son icône est Robert Boyle (1626-1691).

(***) Ceux qui opèrent selon le nouveau style de pensée ne sont pas plus rationnels ou mieux informés que leurs prédécesseurs. Ceux qui en restaient à la pratique traditionnelle n'avaient ni des idées confuses ni des convictions contraires (à cet égard) à celles de leurs successeurs.

De plus, il y a un site emblématique, le laboratoire. Et peut-être la vraie icône n'est-elle pas un homme mais un appareil, la pompe à air elle-même. Lors de ma première lecture de *Léviathan et la pompe à air*, je l'ai lu comme la biographie d'un instrument.

Le vide comme entité théorique non observable

La pompe à air a produit un phénomène nouveau – le vide. Cela n'était pas évident. Quand on utilise la pompe, on ne voit pas le vide, on en voit les effets. On voit que la bougie s'éteint, que le chien enfermé dans une boîte hermétique s'affaiblit et meurt des dans des douleurs atroces. Selon Boyle, l'explication est claire : la pompe retire l'air de la boîte dans laquelle la bougie brûle et le chien respire. Pour Boyle, c'est une évidence. Bien sûr, la nature a horreur du vide, mais le génie humain a créé un dispositif, une pompe, qui peut aspirer l'air de la boîte presque complètement. On crée un vide presque total. C'est le chien qui a horreur du vide.

Boyle croit que l'univers matériel est composé « d'atomes et de vide ». Voilà l'énoncé clé de sa philosophie dite corpusculaire. C'est la métaphysique des physiciens anglais ; c'est le credo des newtoniens. En France, à la même époque, la métaphysique qui prévaut est au contraire une métaphysique du plein. Le vide est impossible, contraire au bon sens, à la richesse et à la munificence de Dieu.

Les partisans de la théorie corpusculaire croyaient que la pompe à air était vraiment un *experimentum crucis*. On a traduit cette expression par « expérience cruciale ». C'est ainsi que Francis Bacon, le héros des partisans de la théorie corpusculaire, nommait la preuve expérimentale. Par la suite, la philosophie des sciences fut amenée à prendre en considération le rôle absolument décisif de ces expériences cruciales. Imaginons que deux théories se trouvent en compétition et qu'une simple vérification permette de se déclarer en faveur de l'une ou de l'autre. Même s'il est impossible de prouver que la théorie qui l'emporte est vraie, sa rivale au moins est mise hors de combat. Ce n'est pas tout à fait ce que disait Bacon, mais c'est ce qu'on retient le plus souvent.

Peut-être est-il évident *a priori* – et l'histoire le confirme – que le laboratoire ne fonctionne pas avec des expériences cruciales. Un premier argument s'appuie sur la thèse formulée par Pierre Duhem dans son livre de 1906, *La Théorie Physique : L'« expérience cruciale » est impossible en physique*. Cette thèse dérive de sa doctrine fondamentale, qu'il résume ainsi :

Le physicien ne peut jamais soumettre au contrôle de l'expérience une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble d'hypothèses ; lorsque l'expérience est en désaccord avec ses prévisions, elle lui apprend que l'une au moins des hypothèses qui constituent cet ensemble est inacceptable et doit être modifiée ; mais elle ne lui désigne pas celle qui doit être changée.⁸ (p. 284)

Parmi « l'ensemble d'hypothèses » pertinentes au sujet de la pompe à air, il y a les hypothèses sur les propriétés de la pompe elle-même. Hypothèses de très bas niveau, par exemple sur la qualité des joints : sont-ils étanches à l'air ? Mais aussi hypothèses métaphysiques de plus haut niveau : peut-il y avoir un vide complet, où il n'y ait plus rien ? Ces pages de Duhem sont au cœur de notre leçon du cours « B », le mardi 9 mai, sur la stabilité de la raison scientifique.

Duhem soutenait qu'on peut toujours sauver une théorie qui contredit une observation en modifiant une hypothèse auxiliaire, par exemple, dans le cas typique, une hypothèse concernant le fonctionnement d'un instrument. La pompe à air nous fournit un cas d'espèce. Duhem disait que les théories et les hypothèses auxiliaires peuvent être ajustées les unes aux

⁸ Pierre Duhem, *La Théorie Physique. Son objet – Sa structure*, Vrin, 1977. (éd. Originale: Paris : Chevalier et Rivière. 1906.)

autres. C'était une thèse radicale en 1906, aujourd'hui, les philosophes des sciences la considèrent comme allant de soi. Mais je crois qu'il est nécessaire d'élargir l'idée de Duhem. Il y a tout un monde qu'il ne prenait pas en compte : c'est le monde que constitue la fabrication des instruments, leur reproduction, l'art de les faire fonctionner et de repenser leur mode de fonctionnement.

Les aventures de la pompe à air nous en offrent une bonne illustration. Hobbes, parmi beaucoup d'autres, a posé de nombreuses questions sur l'appareil lui-même. Il a posé des questions techniques, mais aussi des questions de portée plus générale. Boyle prétend qu'il a créé un vide parce qu'on peut observer un chien qui meurt pendant qu'on pompe l'air du réceptacle où il est enfermé. Hobbes :

La plupart disent que la cause de la mort est qu'à l'intérieur de la sphère, l'air dont vivent tous les animaux dotés de poumons, est aspiré au dehors. Mais je ne crois pas que l'air puisse être aspiré au dehors, ni même que s'il l'était, l'animal mourrait aussi rapidement. En réalité, l'action qui entraîne la mort pourrait être aussi une autre aspiration, qui causerait la disparition de l'air qui entraîne la mort de l'animal en arrêtant la respiration, ou bien encore un mouvement de l'air poussé de tous côtés vers le centre de la sphère où l'animal est enfermé. Par conséquent, sa mort pourrait venir de ce qu'il est étouffé par la ténacité de l'air ainsi comprimé, comme s'il se noyait dans l'eau [...] Hobbes *Dialogus Physicus*, traduit par Simon Schaffer, *Leviathan and the Air Pump*, p.346.⁹

Même dans les meilleurs moments, la pompe marchait rarement comme on voulait. Il était presque impossible de reproduire les phénomènes observés. Seul le meilleur physicien du temps, Christian Huygens, parvint à construire, sans l'assistance des techniciens anglais, une pompe qui marchait.

Dans les premiers temps, les résultats de Boyle étaient controversés. Le vide dans la pompe était vraiment instable. Après quelques années, il s'est stabilisé. La pompe à air a nécessité des investissements incroyablement élevés en recherche et développement. Elle fut ruineuse à la fois pour Boyle et pour le gouvernement britannique. Mais après quelques années, la pompe est devenue simplement une « boîte noire » (pour utiliser le mot très juste de Latour), voire un jouet.

La pompe à air, notre héroïne, parvint à maturité en 1678, en atteignant ses 21 ans. Un beau brin de technologie, à cette date. Toujours en rayon. Et une affaire, avec ça, à 4 guinées pièce (environ 200 euros). Par la suite, elle devait dépérir, et finit par mourir d'obsolescence, ayant perdu sa raison d'être. C'est un exemple presque trop parfait de la stabilisation dans le laboratoire. Ce sera notre point de départ pour la troisième leçon du cours « B », le mardi 9 mai, sur la stabilisation des styles de pensées scientifique.

⁹ Most say that the cause of death is that the air within the sphere, in which live all animals with lungs, is sucked out. But I am not of the opinion that the air can be sucked out, nor even that if it were sucked out, the animal would die so quickly. Indeed the action which that death follows may be either some other suction, and because of this suction, the shutting off of the air which kills the animal by shutting off respiration, or else a compulsion of the air from each part towards the center of the sphere in which the animal is enclosed. And so it may die by being stifled by the tenacity of the compressed air, as if drowned by water [...]. Hobbes *Dialogus Physicus*, traduit par Simon Schaffer, *Leviathan and the Air Pump*, p.346.

1 (II) : LE LABORATOIRE COMME FORME DE VIE

Des formes de vie

Le sous-titre français (*Hobbes et Boyle entre science et politique*) est très différent de ce qu'il était en anglais : *Hobbes, Boyle and the experimental life* c'est-à-dire *Hobbes, Boyle et la vie expérimentale* ou même *la vie en laboratoire*. Il y a une petite histoire de cette différence. Bruno Latour est à l'initiative de la traduction française du livre, et nous lui en sommes reconnaissants. Mais c'est un ouvrage si riche qu'il y a de nombreuses façons de le lire et des leçons très différentes à en retirer.

Bruno Latour a écrit à propos de ce livre un article passionnant : *Sommes-nous postmodernes? Non, amodernes. Étapes vers l'anthropologie des sciences*.¹⁰ Cet article était un manifeste annonçant son livre *Nous n'avons jamais été modernes : essai d'anthropologie symétrique*¹¹. Modernes ? Latour soutient que l'essence de la modernité est la distinction entre le monde des sciences et le monde social, le monde politique. Robert Boyle (1627-1691), le physicien anglais, était le prophète du monde scientifique. Thomas Hobbes (1588-1679), fondateur des sciences politiques et donc des sciences sociales, était le prophète du monde politique. L'affrontement entre ces deux figures marque l'origine de la modernité. C'est le sujet du livre de Shapin et Schaffer, aux yeux de Bruno Latour.

Ces deux auteurs, selon lui, ont appris à déconstruire – c'est le mot qu'il emploie – la Nature mais pas la Société. D'où le sous-titre de son propre livre «*essai d'anthropologie symétrique*». Symétrique entre la nature et la société. Il faut les « déconstruire » tous les deux. Et Latour prétend qu'en effet nous ne faisons pas dans la vie quotidienne les distinctions que nous faisons en théorie parmi les actants humains (sociaux) et les actants non-humains (naturels). On trouve aussi dans ce livre cette idée chère à Bruno Latour, que nous avons besoin d'un parlement des choses. Un mot encore sur ce point : il y a une réponse de Simon Schaffer à l'article et au livre de Latour. Elle est élégamment intitulée « The 18th brumaire of Bruno Latour »¹² – « Le dix-huit brumaire de Bruno Latour » – référence évidente au dix-huit brumaire de l'an VIII, le coup d'état de Napoléon Bonaparte.

Pour le sociologue français, le livre de Shapin et Schaffer est important parce qu'il souligne le commencement de l'opposition entre le monde scientifique et le monde social et politique. Latour a trouvé une subvention qui a permis de traduire ce livre, publié par son propre éditeur, les éditions la Découverte. D'où le sous-titre français, « entre science et politique », où l'on sent l'influence de Latour. Ce titre est juste, mais le sous-titre anglais est également juste : « la vie expérimentale ». De mon point de vue, le sujet de ce livre est l'émergence de la vie du laboratoire. C'était en effet le sujet du premier livre de Latour, *La Vie de laboratoire*¹³. Il a écrit ce livre en qualité d'ethnographe ou d'anthropologue ayant vécu, pour l'étudier, dans un laboratoire important dont les recherches ont été couronnées par un prix Nobel de médecine. Le prix récompensait la découverte de la structure d'une

¹⁰ « La Pensée métisse. Croyances africaines et rationalité occidentale en questions », *Cahiers de l'IUED*, N°19, Genève, 1990, pp.127-155.

¹¹ Éditions la Découverte, 1991.

¹² Simon Schaffer, « The 18th brumaire of Bruno Latour » *Studies in History and Philosophy of Science* 22 (1991):174-192

¹³ Bruno Latour et Steve Woolgar, *La Vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*, (*Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, London and Beverly Hills: Sage. 1979.)

molécule par la synthèse. Cela veut dire qu'on a trouvé la structure de la molécule nommée « TRF » non pas par les méthodes ordinaires d'analyse, mais en produisant une molécule à partir de ses composants connus, une molécule qui a toutes les propriétés du « TRF ». C'est une molécule jugée fondamentale pour le système hormonal des humains et d'autres animaux.

Dans la deuxième leçon, j'ai présenté une liste de cadres d'analyse, dont les styles de Crombie, le paradigme de Kuhn, le *denkstil* de Fleck etc. J'ai eu la tentation d'inclure à ces cadres d'analyse ce que Wittgenstein appelle la « forme de vie », mais j'ai choisi alors de ne pas en parler. Le moment est venu de le faire. Shapin et Schaffer sont très conscients de ce cadre :

Nous ferons un usage libre et informel des notions de « jeu de langage » et de « forme de vie ». Notre intention est de considérer la méthode scientifique comme intégrée à des *schémas d'activité*. De même que pour Wittgenstein [ici ils citent Wittgenstein, *Investigations Philosophiques*, § 23] « Le terme « jeu de langage » doit faire ressortir ici que le *parler* de la langue fait partie d'une activité ou d'une forme de vie », ¹⁴ nous considérons les controverses touchant à la méthode scientifique comme des querelles portant sur des manières différentes de se comporter, avec les choses et avec les hommes. (p. 21-22)

Le programme expérimental était, pour reprendre les termes de Wittgenstein, un « jeu de langage » et une « forme de vie ». Accepter ou rejeter ce programme revenait à accepter ou rejeter la forme de vie proposée par Boyle et ses collègues. (p. 30)

Chaque lecteur de Wittgenstein pense connaître le *vrai* Wittgenstein, moi inclus. Je doute que « mon » Wittgenstein aurait aimé voir employer ses propres mots de cette façon. Mais cela ne fait rien. Ses mots sont dans le domaine public, nos auteurs sont libres de les utiliser comme ils veulent. Et leur usage est assez clair, je crois.

L'idée d'une forme de vie renvoie à des activités sociales. Mais pas des activités qu'on choisit consciemment. Une forme de vie est une notion presque kantienne, l'idée d'un cadre pour toute expérience. L'idée capitale de Shapin et Schaffer est que le laboratoire de Boyle et ses contemporains marque l'invention d'un nouvel ordre social.

Le rôle des appareils

Léviathan et la pompe à air n'est pas seulement l'histoire d'un incident scientifique. Il ne s'agit pas simplement de la confrontation de deux héros, Hobbes et Boyle, suivie d'un dénouement révolutionnaire : en l'occurrence, la distinction entre la Nature d'un côté et la Société humaine de l'autre. Le livre met l'accent sur un nouveau type d'acteur, un nouveau type de lieu, un nouveau type d'écriture et un nouveau type de fait.

Le nouvel acteur n'est pas une personne, mais un dispositif technique. Il s'agit donc de la biographie d'un appareil. Il y avait eu auparavant de nombreux appareils permettant de mesurer ou d'explorer de plus près les phénomènes. C'est exactement l'esprit du style (2) de Crombie, «Le déploiement de l'expérience à la fois pour contrôler les postulats et pour se

¹⁴ Das Wort „Sprachspiel“ soll hier hervorheben, daß das *Sprechen* der Sprache ein Teil ist einer Tätigkeit, oder einer Lebensform. (Nous avons retraduit en français la version anglaise traduite de l'allemand, qui se trouve dans S&S.)

livrer à des explorations par l'observation et la mesure ». Le personnage principal du livre de Shapin et Schaffer est quelque chose de neuf, un appareil qui crée des effets qui n'avaient pas auparavant d'existence isolée. Avec lui s'inaugure ce que j'appelle le style du laboratoire. Avant la pompe à air, les chercheurs s'efforçaient de rendre intelligibles les phénomènes qu'on observe dans la nature. Après son invention, une nouvelle sorte de science répond à un nouveau maître : les phénomènes qui se produisent pendant un court laps de temps dans les conditions artificielles du laboratoire.

« *Qu'est-ce qu'une expérience ?* »

Latour voit en Hobbes l'auteur du *Léviathan*, et donc le fondateur de la science politique. Il voit en Boyle le fondateur de la science de la nature. Mais l'un des désaccords entre Hobbes et Boyle, étudié par Shapin et Schaffer, repose sur un fondement beaucoup plus spécifique encore. À cet égard, le titre du premier chapitre du livre, « qu'est-ce qu'une expérience ? », est tout à fait juste. L'objet du débat concerne littéralement le fait de savoir s'il faut se lancer dans le style de raisonnement du laboratoire, où l'on utilise des appareils pour créer de nouveaux phénomènes. Hobbes avait pressenti que les appareils de laboratoire permettant de produire des phénomènes étaient une nouveauté radicale. Il était absolument opposé à cette manière de faire de la science – à cette forme de vie.

Les débats de la Renaissance opposant la démonstration à l'observation nous sont familiers. Mais la bataille entre Hobbes et Boyle n'était pas une dispute sur le poids relatif des preuves empiriques et des preuves déductives. Le problème était plus profond et plus lourd de conséquences. « Qu'est-ce que nous admettons comme évidence factuelle ? Sera-ce ce que l'on trouve chez nous, ce qu'on rapporte de l'étranger ou qu'on relève dans les cieux ? ou sera-ce ce que nous fabriquons avec des machines ? » Hobbes pense que nous n'avons pas besoin de créer des phénomènes artificiels, et on le comprend. Rappelons que, comme Boyle, Hobbes a vécu plus d'un siècle après les voyages d'exploration héroïques des Portugais. Londres et Paris bruissaient de nouvelles venues des quatre coins du monde. On baignait dans un déluge de rapports sur de nouveaux phénomènes, des objets, des plantes et des animaux trouvés et même importés. Le télescope de Galilée a ouvert les cieux, et le microscope de Leeuwenhoek et celui de Hooke – collègue et assistant de Boyle – pénétraient les secrets du monde invisible. Les chirurgiens ouvraient le corps humain, en public, dans des théâtres d'anatomie qui étaient vraiment des théâtres.

Des phénomènes artificiels

Pourquoi créer des phénomènes artificiels ? C'est la question que Hobbes posait dans un *Dialogus physicus* publié en 1661. Il s'agit d'une attaque contre un tract de Boyle datant de 1660. Boyle a ensuite publié une réponse dans un pamphlet de 1662. Ce dialogue a été traduit du latin dans l'édition anglaise du livre de Shapin et Schaffer, mais il ne figure pas dans la traduction française. En voici un passage où s'affrontent le représentant de Hobbes, H, et le représentant de Boyle, B.

H : N'y a-t-il pas assez de phénomènes, à votre avis, dans ce que montrent les cieux élevés, et les mers, et la vaste terre ?

B : Il est des œuvres cruciales de la nature dont nous n'avons pas connaissance sans méthode et sans zèle, dans lesquelles une partie de la nature produit pour ainsi dire par artifice son mode d'action de façon plus manifeste que dans cent mille de ces

phénomènes ordinaires. Telles sont nos expérimentations : grâce à elles, on découvre une cause unique que l'on peut appliquer à un nombre infini de phénomènes ordinaires.

Qu'est-ce qu'un phénomène dans la langue de Boyle et de Hobbes ? Qu'est-ce que moi-même je veux dire par ce mot ? J'ai traité longuement de l'idée de phénomène dans *Concevoir et Expérimenter*. Je me contenterai de dire ici (1) que le mot vient du grec et désigne à l'origine des phénomènes célestes ; que dans la langue courante, deux sens sont attestés. Le premier sens (2) est : fait, événement anormal ou surprenant ; chose ou personne rare, extraordinaire. (Je cite *Le petit Robert*) (3) Le second sens (toujours selon le *Robert*) : Tout ce qui se manifeste à la conscience, que ce soit par l'intermédiaire des sens ou non. Je n'utilise le mot que dans un sens dérivé de (1) et (2). C'est l'usage de Boyle et de Hobbes. C'est aussi l'usage de Pierre Duhem, dont nous parlerons beaucoup dans la leçon du 9 mai dans le cours « B ». C'est l'usage des physiciens et de la plupart des scientifiques aujourd'hui. C'est l'usage du *Petit Robert*, au sens 4 de la définition du mot *expérience* : Le fait de provoquer un phénomène dans l'intention de l'étudier. (Attention ici au mot provoquer !) Tous parlent de quelque chose de public. Moi aussi. Je ne parle jamais des phénomènes au sens (3) ou au sens de la phénoménologie philosophique.

Hobbes soutenait qu'il y a assez de phénomènes dans la vie quotidienne, la vie des explorateurs, la vie des médecins, la vie des astronomes. On n'a pas besoin d'une vie supplémentaire, une vie de laboratoire où l'on crée de nouveaux phénomènes. Et il est très méfiant vis-à-vis de cette vie.

Des sociétés scientifiques – pour l'élite

Shapin et Schaffer soulignent d'autres oppositions, également pertinentes. On avait fait la démonstration des expériences de Boyle devant ce club très sélect qui allait bientôt devenir la *Royal Society*, la Société royale (des sciences, de Londres). Hobbes se montre ironique :

H : toute personne qui le souhaite ne peut-elle venir (puisque, à ce que je suppose, ils se rencontrent en un lieu public) et donner son opinion sur les expériences que l'on voit... ?

B : Pas du tout...

Shapin et Schaffer nous en apprennent beaucoup sur la manière dont la science de laboratoire insiste sur le fait que seules les bonnes personnes, les personnes autorisées, les *gentlemen* sont aptes à juger du résultat d'une expérience. C'est ce que de nos jours nous appelons *peer review*, révision ou examen par les pairs (les collègues). Hobbes détestait ce club dont les membres créaient des phénomènes artificiels soumis au seul jugement de ceux que l'on y admettait après une sélection sévère.

Les historiens de la révolution scientifique ont souvent dit que la fondation des sociétés savantes fait partie des symptômes décisifs de quelque chose d'absolument nouveau dans la société européenne. Cela commence formellement en 1657 à Florence, avec l'Accademia del Cimento, qui rompt avec la tradition humaniste de l'Accademia dei Segreti à Naples (1603) et l'Accademia dei Lincei à Rome (1603). À la différence de ses prédécesseurs, qui sont vraiment des académies des sciences, l'Académie florentine privilégiait un travail d'expérimentation au sens moderne. En Angleterre, la *Royal Society of London* (créée en 1662), fut établie par le roi à partir d'une société privée, Gresham's College, qui s'était constituée vers 1645. On trouve une pompe à air (ou plusieurs) à Gresham's College. Il y en a une également dans un groupe privé à Paris, à partir de novembre 1661. Elle passe à

l'Académie des Sciences. Cette institution avait été fondée en 1666 et bénéficiait de la garantie de Colbert, qui avait pris modèle sur son homologue à Londres.

Shapin et Schaffer m'ont convaincu que ces organisations sont à la fois les manifestations du commencement d'une nouvelle forme de vie, et les structures qui ont facilité l'installation de cette vie. Plus importantes que les sociétés elles-mêmes sont les lieux et les architectures dans lesquels on pourrait vivre cette vie. Le lieu, l'inscription spatiale des sciences. Le laboratoire.

La pompe à air comme icône du laboratoire

J'ai dit qu'il y avait un mythe de l'origine lié à chaque style de raisonnement. Louis Althusser a multiplié des légendes comme celles-ci : « Thalès a découvert le continent des mathématiques, Galilée a découvert le continent de la mécanique, et Marx a découvert le continent de l'histoire ». Je suis certain, absolument certain, qu'il n'est pas vrai qu'un homme, tout seul, ait fait la première démonstration de géométrie. Même s'il y a eu un Thalès, même si ce Thalès a peut-être vraiment découvert le continent de la géométrie, on ne peut pas oublier qu'il y a aussi une histoire sociale de cette découverte. Pourtant le mythe, même si on ne le prend pas au sérieux, reste utile à la manière d'un drapeau. Pour filer la métaphore d'Althusser, avec une allusion colonialiste, c'est Thalès qui a planté son drapeau sur le continent des mathématiques. J'ai mon propre mythe sur l'origine du style du laboratoire. Un mythe requiert un héros. J'ai une héroïne plus qu'un héros : non pas Boyle, mais sa pompe à air. Shapin et Schaffer en ont écrit l'histoire sociale. Les historiens des sciences ont dit souvent que l'homme qui a vraiment inauguré la forme de vie qui est au cœur du style du laboratoire n'est pas Robert Boyle, mais Robert Hooke, son collègue et assistant. C'est une question pour l'histoire et l'histoire sociale des sciences. Si Boyle est le plus célébré, est-ce parce qu'il était un riche aristocrate, tandis que Hooke était roturier et pauvre – pas un *gentleman* ? Cela n'a absolument aucune importance pour le mythe. Peu importe qu'il y ait eu un autre dispositif technique, non pas à Londres mais à Padoue, qui conviendrait mieux comme héros mythique du style du laboratoire. La chose importante est qu'autour de cette période de temps, des chercheurs ont construit un appareil qui a produit un phénomène nouveau. Quel phénomène ? Le vide. Pour être plus précis, un vide partiel, isolé dans une boîte. Isolé, par conséquent présentant des qualités mesurables.

Voici donc mon mythe : la pompe à air marque le début d'une forme de vie, le début des académies des sciences, le début de l'espace qu'on appelle le laboratoire, peuplé des dispositifs techniques qui sont les vrais habitants des laboratoires – et le début du style de pensée scientifique que je nomme style du laboratoire.

Retour au vide

Quand j'ai choisi la pompe à air comme l'icône du style du laboratoire je n'ai pas réfléchi en détail sur la science moderne. Depuis un an, j'ai retrouvé le chemin des laboratoires d'aujourd'hui. En particulier, ceux où l'on travaille sur l'ultrafroid. On produit des températures qui s'approchent du zéro absolu dans un espace très petit et dans un vide presque parfait. Le zéro absolu se situe un peu en-dessous de moins 273 degrés centigrades. On parle de degrés Kelvin, c'est-à-dire des degrés centigrades au-dessus du zéro absolu. Un millikelvin c'est un millième de degré au-dessus de zéro. On atteint des températures d'un nanokelvin, c'est à dire 10^{-9} , 1 sur dix puissance un milliard. C'est vraiment ultrafroid.

L'ultrafroid est un sujet très actif en ce moment. En 1997, mon collègue Claude Cohen-Tannoudji et son équipe de l'ENS ont partagé un prix Nobel pour des contributions à la fois théoriques et expérimentales à la compréhension et à la production des conditions de l'ultrafroid. Serge Haroche, autre professeur du Collège de France, poursuit également des recherches dans ce domaine. C'est le sujet de son cours cette année.

Une remarque très brève et tout à fait spéculative : je parle de températures très proches du zéro absolu. Selon l'idée courante, au zéro absolu, les particules n'ont plus d'énergie, elles sont immobiles et rien ne se passe – et le vide est vraiment vide, sans matière, sans énergie, sans rien. Au dix-septième siècle, dans les débats sur les atomes et le vide, les partisans de la théorie corpusculaire comme Robert Boyle pensaient que le vide était vraiment sans contenu. Descartes, de son côté, en doutait. Les choses ont beaucoup changé depuis le début du XX^{ème} siècle. Aujourd'hui, tous les physiciens acceptent le concept du vide, mais ce n'est pas le vide de Boyle. Je cite les deux premières phrases d'un manuel bien connu de Peter Milonni, *Le Vide Quantique* :

Dans les conceptions contemporaines, il n'y a pas de vide au sens ordinaire d'un paisible néant. À la place, il y a un vide quantique fluctuant¹⁵.

Dans la même page, Milonni cite une remarque de P.C. Davies adressée au grand public. Davies est un physicien qui a un penchant pour les déclarations extrêmes :

Le vide renferme la clé d'une compréhension complète des forces de la nature¹⁶.

Milonni ajoute que :

La conception moderne du vide est étroitement liée à l'idée d'énergie du point zéro, l'énergie associée au mouvement persistant même à une température atteignant le zéro absolu, où tout mouvement cesse, dans la vision classique¹⁷.

Je reviens à ma brève évocation du merveilleux livre de Pierre Hadot intitulé *Le Voile d'Isis*¹⁸. Il retrace l'histoire d'une phrase d'Héraclite que l'on traduit souvent ainsi : « La Nature aime à se voiler ». Le livre est illustré de représentations classiques de la nature – il s'agit toujours d'une femme, souvent Isis, qui se dévoile et révèle ses secrets devant la science. Avec un message sous-jacent : elle se déshabille devant les hommes de science. La gravure qui orne le revers de la médaille du prix Nobel de physique et de chimie « représente la nature sous la forme d'une déesse prenant les traits d'Isis émergeant des nuées et tenant dans ses bras une corne d'abondance. Le génie de la science lève le voile qui recouvre son visage. » Une chaste allégorie ? Non : sa poitrine est déjà nue.

On pourrait dire, pour parodier la formule d'Héraclite et celle du physicien Davies : *La Nature se cache dans le vide, où son énergie est « zéro »*. Quelle cachette !

Gérard Mourou est un physicien français qui est retourné en France récemment. Il s'est établi au Laboratoire d'Optique Appliqué à Palaiseau. Le 19 octobre 2005, *Le monde* lui a

¹⁵ Peter W. Milonni, *The Quantum Vacuum : An Introduction to Quantum Electrodynamics*, Boston : Academic Press Inc, 1997. "According to present ideas there is no vacuum in the ordinary sense of tranquil nothingness. There is instead a fluctuating quantum vacuum," page xiii.

¹⁶ P. C. W. Davies, *Superforce*, New York : Simon and Schuster, 1985. Trad. fr. *Superforce : recherches pour une théorie unifiée de l'univers*. Paris, Payot, 1987. "The vacuum holds the key to a full understanding of the forces of nature," page 104.

¹⁷ "The modern view of the vacuum is closely related to zero-point energy, the energy associated with motion persisting even at the absolute zero of temperature, where classically all motion ceases," page xiii.

¹⁸ Pierre Hadot, *Le Voile d'Isis. Essai sur l'histoire de l'idée de Nature*, Gallimard, 2004.

consacré un article intitulé « L'intensité du laser fera jaillir la matière du vide. » L'article cite Mourou :

« *Le vide est mère de toute matière* », lance-t-il avec une certaine jubilation. À l'état parfait, « *il contient une quantité gigantesque de particules par cm³... et tout autant d'antiparticules* ». D'où une somme nulle qui conduit à cette apparente absence de matière que nous nommons... le vide.¹⁹ »

Robert Boyle et la pompe à l'air, mes icônes jumelles du style du laboratoire, ont commencé en physique un voyage que nul n'avait prévu. C'est la première étape de notre voyage dans le vide, où se cache le secret des forces de la nature (selon les physiciens Davies, Milonni et beaucoup d'autres).

La création des phénomènes

Le chapitre 13 de *Concevoir et expérimenter* était intitulé « La création des phénomènes ». Je commençais par le paragraphe suivant :

« De tous les rôles joués par l'expérience, il en est un que l'on n'a même pas songé à nommer tant il est négligé. Il s'agit de la création des phénomènes. Traditionnellement, les scientifiques ont la réputation d'expliquer les phénomènes qu'ils découvrent dans la nature. Je pense, quant à moi, qu'ils créent souvent les phénomènes qui deviennent alors les clés de voûte de la théorie. »²⁰

Quand je parle des phénomènes, je parle la langue des physiciens, pas des philosophes, pas des Husserliens. Dans le *Petit Robert* on trouve une liste d'emplois du mot : « *Phénomènes électriques, magnétiques, physiologiques, psychiques* ». On mentionne le sens dérivé de l'astronomie : les « phénomènes célestes ». Je ne vais pas répéter ce que j'ai dit dans mon livre. Dans le discours des physiciens, les phénomènes sont surtout publics. Le terme est employé dans un sens très proche du mot « effet », comme dans la phrase : « l'effet tunnel est un phénomène quantique ». Le dictionnaire indique aussi que depuis le XVIII^e siècle, le mot a la connotation de quelque chose de surprenant ou d'anormal. L'effet tunnel est tout à fait contraire à notre expérience quotidienne. Si on lance des électrons contre une barrière, plus la barrière est petite, plus les électrons ont de chance de passer, par effet tunnel. À un instant donné, l'électron est d'un côté d'une barrière imperméable. L'instant d'après, il est de l'autre côté. Cet effet était surprenant, dans un premier temps, pour ceux qui l'ont découvert. Je pense qu'on peut dire qu'il est intrinsèquement surprenant. Il est « anormal » – contraire à l'expérience quotidienne – mais on se rend compte ensuite que c'est une chose normale et même nécessaire dans le monde quantique. C'est parce qu'il est si singulier et si frappant qu'on continue de parler d'« effet » et de le décrire comme un « phénomène ».

Il y a un élément psychologique ou sociologique dans la terminologie physique des effets et des phénomènes. L'effet tunnel est frappant *pour nous*, pas pour les électrons. De plus, la langue des phénomènes est très influencée par les théories, elle est *theory-laden*, chargée de théorie. Revenons au passé pour une illustration. En 1839, A. C. Becquerel (1788-1878), le premier d'une famille renommée de physiciens – son petit-fils a partagé un prix Nobel avec Marie Curie – remarque une chose très curieuse.

¹⁹ *Le Monde*, 20 octobre 2005.

²⁰ Christian Bourgois Éditeur, 1989, p.355.

Avec son fils, il a fait des expériences sur l'électricité, la lumière et certaines solutions salines comme le chlorure d'argent – cela se passe quelques années après que L.-J.-M. Daguerre a utilisé l'iodure d'argent pour le daguerréotype. Quand on illumine une électrode dans un dispositif composé de deux électrodes identiques baignées dans cet électrolyte, il apparaît une différence de potentiel entre les électrodes. À l'origine, ce sont des recherches liées à la fascination suscitée par la photographie qui ont révélé par hasard des indices d'effets plus profonds : on dit que c'est ce Becquerel qui a découvert l'effet photoélectrique.

En 1885, Heinrich Hertz (1857-1894) réalise ses expériences fondamentales sur les ondes électromagnétiques. Lorsqu'il applique un rayonnement électromagnétique à des électrodes sous tension dans un gaz raréfié, il se produit une décharge. L'étincelle étant un peu faible, pour mieux l'observer, il place des électrodes dans une boîte noire protégée par une plaque de verre. L'étincelle est moins forte quand on ajoute le verre, mais une plaque de quartz (qui n'arrête pas les rayonnements ultraviolets) n'entraîne pas la même baisse d'intensité.

On pense aujourd'hui que les deux phénomènes décrits l'un par Hertz et l'autre par Becquerel, apparemment très différents, illustrent en réalité le même phénomène : l'effet photoélectrique. Les faits expérimentaux sont établis définitivement par Philippe von Lenard en 1902, et Einstein en donne l'explication en 1905. Qu'est-ce que cet effet photoélectrique ? Le phénomène observé par Becquerel n'est-il pas tout à fait différent du phénomène de Hertz ? Non, ils sont identiques, parce que dans chaque cas des électrons sont libérés par des photons qui entrent en collision avec les atomes d'un métal. Les critères d'identité pour un phénomène peuvent donc être hautement théoriques.

Dans un laboratoire de physique, on fait beaucoup de choses différentes et on a une vaste gamme de buts. Mesurer, par exemple. Mais aussi produire, purifier, et même créer les phénomènes. J'ai rencontré beaucoup de physiciens qui acceptent tout à fait l'idée qu'ils « produisent » et « purifient », mais qui résistent à l'idée qu'ils feraient un travail de « création ». Dans le cas de l'effet photoélectrique, ils ont raison. Becquerel et Hertz ont produit le phénomène sans le comprendre. Von Lenard l'a purifié, et Einstein l'a expliqué. Nous ne créons pas ce phénomène parce qu'il existe partout – il y a en permanence des photons qui frappent des atomes à certaines fréquences, et instantanément (pas après un processus), des électrons sont émis. Cet effet existe partout, et ce n'est pas nous qui l'avons « créé » au sens littéral. Pour moi, nous ne créons quelque chose que si cette chose n'a jamais existé dans l'histoire de l'univers avant que nous la produisions de nos mains.

J'en viens au laser. Le mot est un acronyme de l'expression anglaise *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Un laser transforme la lumière incidente, composée d'un mélange de fréquences, en un faisceau de lumière hautement amplifiée et cohérente, c'est-à-dire avec une seule fréquence, et où toute la lumière a la même phase. J'ai dit que ce phénomène de « lasing » n'existait pas dans l'univers avant 1950. Aujourd'hui, il y a des lasers partout dans le monde industriel, dans tous les lecteurs de CD ou de DVD. C'est la clé du refroidissement rapide qui permet d'atteindre l'ultrafroid, et le cœur des recherches de Cohen-Tannoudji et Haroche, par exemple.

J'affirme que ce sont les physiciens qui ont créé ce phénomène du laser – pour la première fois dans l'univers – vers 1950.

Certains physiciens contestent cette affirmation. L'objection est formulée de deux manières. Première version (1) : comment puis le savoir ? Peut-être existe-t-il, dans un coin ou un autre de l'univers, un dispositif naturel qui produit de la lumière cohérente à la manière

d'un laser. Oui, c'est possible en principe, mais j'en doute. Il est *presque certain* que c'est notre espèce qui a créé ce phénomène. Deuxième version (2), platonicienne : ce phénomène existe dans les lois de la nature qui perdurent au moins depuis le Big Bang. En réalité, je me méfie profondément de cette image du monde. C'est l'image qui sert de fondement au principe anthropique. D'abord, il y eut la forme des lois de la nature, mais sans que soit fixée la valeur des paramètres figurant dans les équations – sans que soient données la vitesse de la lumière, ou la valeur de la constante de Planck, par exemple. Ensuite, il y eut ces valeurs, insérées dans les équations. C'est le mythe de la création de l'univers en deux étapes. Ou bien, si cela évoque trop un créateur qui aurait choisi les paramètres de notre univers, on embrasse la théorie de l'univers pluriel – plurivers ou *multiverse* : Tous les univers, avec toutes les valeurs possibles pour les paramètres, existent. Le nôtre n'est qu'un univers particulier parmi cette multitude d'univers. Mais la forme des lois existe de toute éternité. Une forme qui se justifie, peut-être, par des principes de symétrie. À mon avis, ce n'est pas une vision théologique, mais un rêve anthropomorphique. Si nous étions les architectes de l'univers, nous l'aurions fait comme cela. Noble vision de Leibniz ! Dans cette vision, c'est comme si dieu avait créé toutes les choses possibles, y compris le phénomène du laser, depuis le commencement des temps. Plus simplement, on ne postule pas ce dieu, on laisse tout à un dieu logique qui préfère les idéalités de la symétrie. Le rêve de Kepler. Le rêve de Platon. Les rêves les plus nobles, parmi les mythes qui sont notre héritage. Mais des rêves tout de même.

Je ne veux pas contester ces images, ces mythes, ces rêves. Je voudrais simplement affirmer que cette deuxième version de l'objection contre ma doctrine de la création des phénomènes, porte avec elle tout cet héritage métaphysique. Retournons à la première version. Bien sûr, il n'est pas absolument absurde de postuler qu'il a pu exister un laser avant son invention humaine au milieu du vingtième siècle. Mon argument est encore plus fort dans l'ultrafroid.

À ces températures très basses, on a produit un phénomène que Einstein avait prévu en 1925. On l'appelle le condensat de Bose-Einstein. Je dis que c'est nous qui l'avons créé, pour la première fois dans l'histoire de l'univers, en 1995 (c'est l'objet du Prix Nobel de physique 2001). Comment puis-je le savoir ? Parce que la température de fond de l'univers est de 3 degrés Kelvin, et que la condensation de Bose-Einstein ne se produit que tout près du zéro absolu. Qu'il s'agisse d'un nanokelvin ou d'un millikelvin, cela importe peu : il s'agit de températures qui existent uniquement dans quelques laboratoires.

Voilà donc un but du laboratoire : la création de phénomènes. Le laser est une illustration capitale. Le condensat de Bose-Einstein est une illustration peut-être plus convaincante encore. Mais n'oublions pas Robert Boyle. Il a créé un phénomène lui-aussi. Pas du vide, qui dans un sens existe partout, mais un quasi-vide en bouteille, à l'intérieur d'une sphère, dans un récipient fait de verre – mais cela importe peu.

On fait beaucoup de choses dans le laboratoire. Je voudrais souligner la caractéristique la plus nouvelle de ce lieu de travail, de ce espace, de cette nouvelle forme de vie. C'est la production, la purification, et même la création les phénomènes.

La fourmi, l'araignée et l'abeille

Tout le monde sait que l'expérience a besoin de la théorie, et que la théorie a besoin de l'expérience. Pour parodier une des phrases mémorables de Kant, l'expérience sans théorie est aveugle ; la théorie sans expérience est vide. En réalité, plutôt qu'à Kant, c'est à Francis Bacon que nous devons cette idée. Grand styliste, bien meilleur que les philosophes

d'aujourd'hui, il nous fait part de sa conscience de la nécessité d'intégrer l'expérience et la théorie sous la forme d'une parabole didactique. À la manière de son époque, il tire une morale de la vie des insectes.

L'expérimentateur est comparable à une fourmi, il se contente de ramasser et d'utiliser ; le raisonneur ressemble à l'araignée qui tisse sa toile à partir de sa propre substance. Mais l'abeille choisit une voie médiane : elle rassemble le matériau provenant des fleurs sauvages ou cultivées, mais c'est pour le digérer et le transformer par un pouvoir qui lui est propre.²¹

Les fourmis figurent l'homme ou l'équipe qui explore et mesure les choses et les phénomènes trouvés dans la nature – style (2). Les hommes qui raisonnent, qui forment des hypothèses et des modèles analogiques (3) sont les araignées.

Assez comparable à cela est le vrai travail de la philosophie [il veut dire la science de la nature] car elle ne dépend pas uniquement ou principalement des pouvoirs de l'esprit, pas plus qu'elle ne prend le matériau provenant de l'histoire naturelle et des expériences de mécanique pour le déposer tel quel dans la mémoire, mais plutôt elle le dépose dans la compréhension, digéré et transformé.

Comme toute fable qui se respecte, elle permet de tirer différentes morales. Dans l'école inductiviste, d'Isaac Newton ou de Rudolf Carnap, l'abeille fonde des généralisations inductives sur les travaux des fourmis, et requiert l'aide de l'araignée et de ses calculs. Dans l'école déductiviste de Karl Popper, l'abeille travaille en étroite collaboration avec l'araignée pour construire des conjectures, et requiert de la fourmi qu'elle fasse des réfutations. Je crois que ces écoles sont toutes les deux beaucoup trop simplistes. Le conseil de Francis Bacon est parfait pour les styles de pensée de Crombie. Le style de l'expérience est celui des fourmis, le style de la modélisation est celui de l'araignée. Mais il y a plus dans le style galiléen et le style du laboratoire que l'expérience et les modèles. Et c'est ce quelque chose de plus qui rend possible la stabilité des sciences de la nature qui nous sont parvenues, traversant toutes les révolutions scientifiques, depuis le temps de Galilée et de Boyle. Cette stabilité sera le sujet de la prochaine leçon. On pourrait lui donner un titre obscur, mais juste, qui serait : le travail des abeilles.

²¹ *The New Organon, or True Directions Concerning the Interpretation of Nature*, Aphorisme 95