bruno latour

la science en action

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

éditions la découverte / textes à l'appui

TEXTES A L'APPUI
Série anthropologie des sciences et des techniques
dirigée par Michel Callon et Bruno Latour

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

D 1373

bruno latour

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

la science en action

traduction de l'anglais par michel biezunski
texte révisé par l'auteur

ÉDITIONS LA DÉCOUVERTE
1, place Paul Painlevé
PARIS Ve
1989

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Introduction

Ouvrir la boîte noire de Pandore

Scène 1. Par un après-midi froid et ensoleillé d'octobre 1989, John Whittaker entra dans son bureau du bâtiment de biologie moléculaire de l'Institut Pasteur à Paris et se dirigea droit vers son ordinateur Eclipse MV/8000. Quelques secondes après avoir chargé les programmes qu'il avait écrits lui-même, une image tridimensionnelle de la double hélice d'ADN apparut sur l'écran. John est informaticien, invité par l'Institut Pasteur pour écrire des programmes qui produisent des images tridimensionnelles des chaînes d'ADN et les relient aux milliers de séquences nouvelles d'acide nucléique qui fleurissent chaque année dans les revues et les banques de données. « Belle image ! » dit son patron, Pierre, en entrant dans le bureau. « Oui, il faut dire que c'est une bonne machine », répondit John.

Scène 2. En 1951, au laboratoire Cavendish, à Cambridge en Angleterre, les rayons X des cristaux d'acide désoxyribonucléique ne donnaient pas de « belles images » sur un écran d'ordinateur. Deux jeunes chercheurs, Jim Watson et Francis Crick [1], avaient toutes les peines du monde à les obtenir de Maurice Wilkins et Rosalind Franklin qui travaillaient à Londres. Ils ne parvenaient pas à déter-

1. Voir le récit qu'en a fait James WATSON [1968] et le très beau film de la BBC, *The Story of Life*, traduit par Canal Plus en 1988, dans lequel tous les protagonistes viennent tour à tour vérifier ou admirer le modèle. Ils se pardonnent mutuellement leurs offenses, s'offrent généreusement le crédit de la découverte — il s'agit d'un film ! L'objet construit par eux, avec ses maigres modèles de fil de fer et de carton, leur échappe maintenant. Personne, jamais, ne l'a construit.

miner si l'acide avait la forme d'une double ou d'une triple hélice, si l'armature de phosphate était située à l'intérieur ou à l'extérieur de la molécule, ou même s'il s'agissait d'une hélice. Leur patron, Sir Lawrence Bragg, ne s'en souciait guère, car ils n'étaient pas sensés travailler sur l'ADN ; eux y attachaient cependant la plus haute importance, surtout depuis le jour où ils avaient appris que le célèbre chimiste Linus Pauling était sur le point de découvrir la structure de l'ADN et qu'il allait en annoncer la découverte dans les mois à venir.

Scène 3. En 1980, dans les locaux de Data General, route 495 à Westborough, Massachusetts, Tom West [2] n'avait pas sur son bureau une « bonne machine ». West et son équipe poursuivaient les tests de mise au point du prototype d'une nouvelle machine portant le nom de code « Eagle » dont la construction n'avait pas été planifiée par l'entreprise, mais qui commençait à susciter l'intérêt du département commercial. Le programme de mise au point de cette machine, qui reçut plus tard le nom d'« Eclipse MV/8000 », avait pris un an de retard, aggravé par le choix de West d'utiliser les nouvelles puces PAL alors que personne ne savait si l'entreprise qui fabriquait les puces pourrait les livrer dans les délais. Pendant ce temps, le principal concurrent, DEC, vendait de nombreux exemplaires de son VAX 11/780, creusant le fossé entre les deux compagnies.

1. La recherche d'une voie d'accès

Par où commencer l'étude de la science et de la technologie ? Quel est le mode d'emploi pour étudier les liens entre la science et la société ? Le choix de la voie d'accès dépend essentiellement du moment où l'on se situe. En 1989 à Paris, John Whittaker obtient de « belles images » de l'ADN sur une « bonne machine ». Mais en 1951, à Cambridge, Watson et Crick s'efforcent de définir une forme pour l'ADN qui soit compatible avec les images entrevues sur le bureau de Rosalind Franklin. La belle forme de l'ADN s'est estompée. En 1980, dans une cave, une équipe de chercheurs travaille d'arrache-pied à faire fonctionner un nouvel ordinateur afin de rattraper DEC. La « bonne machine » n'est pas encore opérationnelle.

Lorsque nous faisons ces flashback — pour emprunter

2. Je me réfère ici au livre de Tracy KIDDER [1981]. Comme celui de Watson, ce livre doit être lu par tous ceux qui s'intéressent à la science en train de se faire.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

un terme de cinéma — , nous voyons s'estomper la forme de l'ADN d'aujourd'hui, forme si bien établie qu'elle autorise la conception de programmes d'ordinateur. Nous voyons également s'estomper l'ordinateur lui-même. Impossible d'imaginer un ordinateur comparant des centaines de séquences d'ADN, puisqu'il n'y avait ni ordinateur, ni paires de bases et que rares étaient ceux qui pouvaient certifier à l'époque que l'ADN jouait un rôle significatif pour la transmission du matériel génétique d'une génération à l'autre. A deux reprises déjà, Watson et Crick avaient annoncé qu'ils avaient résolu l'énigme et leur modèle avait été chaque fois démoli. En ce qui concerne la « bonne machine », Eagle, le flashback nous ramène à une époque où nul n'envisage d'y faire tourner le moindre programme. On est loin de la belle machine banale que John n'avait qu'à allumer ; nous voilà plongés dans un fouillis de fils et de circuits intégrés contrôlés par deux autres ordinateurs que plusieurs dizaines d'ingénieurs s'évertuent à faire fonctionner correctement pendant tout au plus quelques secondes. Personne dans l'équipe n'est sûr que le projet ne tournera pas en fiasco, comme celui qu'avait connu l'ordinateur *EGO* sur lequel ils avaient travaillé pendant des années et dont le coup de grâce, d'après eux, avait été donné par la direction.

Le programme de recherche de Whittaker contient pourtant une grande part d'incertitude. Whittaker ne sait pas combien de temps il va rester à l'Institut Pasteur, si sa bourse va être renouvelée, si l'un de ses programmes permettra de traiter plusieurs millions de paires de bases et de les comparer de façon à obtenir des résultats significatifs sur le plan de la biologie. Mais il dispose d'au moins deux éléments qui ne sont pas sujets à caution : la forme de double hélice de l'ADN et l'ordinateur Data General. Ce qui fut pour Watson et Crick un défi essentiel, pour lequel ils reçurent le prix Nobel, a pour lui le statut d'une simple routine, il constitue le fondement même de son programme et est incorporé dans des milliers de lignes de listing. De même, la machine qui exigea de l'équipe de West des jours et des nuits de travail pendant des années n'est maintenant pas moins fiable que n'importe quel appareil qui ronronne tranquillement dans un coin de son bureau. Bien sûr, par sécurité, un technicien de Data General passe chaque semaine pour assurer la mainte-

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

nance en réglant quelques problèmes mineurs, mais ni lui ni John n'ont plus à examiner l'ordinateur sous toutes ses coutures et encore moins à forcer l'entreprise à développer une nouvelle ligne de produits. Whittaker connaît bien les nombreuses questions soulevées par le dogme fondamental de la biologie — Crick, qui est aujourd'hui un vieux monsieur, vient juste de donner une conférence à ce sujet à l'Institut — mais ni John ni son patron n'ont à repenser de fond en comble la forme de la double hélice.

L'expression **boîte noire** est utilisée par les cybernéticiens pour désigner un appareil ou une série d'instructions d'une grande complexité. Ils dessinent une petite boîte dont ils n'ont rien besoin de connaître d'autre que ce qui y entre et ce qui en sort. Pour John Whittaker, la forme de la double hélice et l'ordinateur Eclipse sont deux boîtes noires. Autrement dit, peu importent les controverses qui ont jalonné leur développement, ou la complexité de leurs rouages internes, seules comptent pour lui aujourd'hui leurs entrées et leurs sorties. Une fois allumé, l'Eclipse fait tourner les programmes que l'on y charge sans poser d'autres problèmes ; et ces programmes qui permettent de comparer les paires de bases partent de la forme devenue évidente de la double hélice.

Entre le mois d'octobre 1989 à Paris et l'automne 1951 à Cambridge ou le mois de décembre 1980 à Westborough, Massachusetts, apparaissent deux visions complètement différentes de ces deux objets, un fait scientifique — la double hélice — et un artefact technique — le mini-ordinateur Eagle. Dans le premier tableau, John Whittaker utilise deux boîtes noires qui ne soulèvent aucun problème ; au cours du flashback, on rouvre les boîtes et une brillante lumière en jaillit. Dans le premier tableau, il n'est plus nécessaire de décider où se situe l'armature de phosphate de la double hélice, elle est simplement là, à l'extérieur ; on ne discute plus la question de savoir si l'Eclipse doit être entièrement compatible 32 bits, on se contente de le connecter aux autres ordinateurs NOVA. Pendant les flashback, de nombreux acteurs rentrent en scène dont beaucoup jouent leur carrière sur les décisions qu'ils prennent : Rosalind Franklin choisit de rejeter la méthode de construction de modèles de Jim et Francis pour se consacrer à l'étude de la cristallographie par rayons X, qui permet d'obtenir des photographies. West opte pour la fabrication

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

d'une machine compatible 32 bits même si on lui oppose que c'est du pur bricolage et même si cette décision provoque le départ de quelques-uns de ses meilleurs ingénieurs, qui souhaitent concevoir une machine entièrement nouvelle.

A l'Institut Pasteur John Whittaker ne prend guère de risques en affirmant que la forme tridimensionnelle de l'ADN est la double hélice ou en faisant tourner son programme sur l'Eclipse. Ces choix-là relèvent désormais de la routine. Les risques qu'il prend, avec son patron, sont ailleurs, dans ce gigantesque programme consistant à comparer toutes les paires de bases créées par les biologistes moléculaires de par le monde. La mesure du risque, lorsque nous suivons un chercheur, dépend donc du déplacement dans l'espace et dans le temps. Si nous retournons à Cambridge, trente ans plus tôt, les risques sont beaucoup plus grands. Qui devons-nous croire ? Rosalind Franklin affirmant que l'ADN est une hélice à trois brins ou n'est peut-être pas du tout une hélice ? Bragg ordonnant à Watson et Crick de laisser tomber ce travail sans avenir pour se remettre à des choses sérieuses ? Pauling, le plus grand chimiste du monde, qui découvre une structure qui contredit toutes les lois connues de la chimie ? La même incertitude pesait sur Westborough il y a quelques années. West doit-il obéir à son patron, De Castro, qui lui demande explicitement de ne pas entreprendre un projet de recherche sur place, puisque tout le secteur de recherche de la société a déménagé en Caroline du Nord ? Combien de temps West peut-il tenir en cachant à ses supérieurs qu'il travaille sur un nouvel ordinateur ? Doit-il se fier aux experts commerciaux qui prétendent que tous leurs clients veulent une machine entièrement compatible (sur laquelle ils peuvent réutiliser leurs vieux logiciels) ou faire comme son concurrent DEC une machine « culturellement compatible » (c'est-à-dire sur laquelle ils ne peuvent réutiliser leurs logiciels mais seulement la plupart des instructions de base) ? Quelle confiance doit-il accorder à son ancienne équipe affaiblie par l'échec du projet *EGO* ? Doit-il courir le risque d'utiliser les nouvelles puces PAL plutôt que des circuits intégrés plus anciens, mais éprouvés ?

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

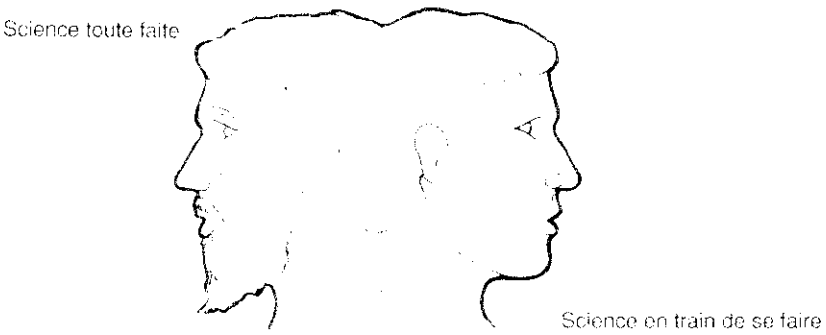


Figure 1.1

En remontant dans le passé à partir de boîtes noires éprouvées, froides, fiables, on retrouve facilement le sentiment d'incertitude, la vision de gens au travail, les décisions, les compétitions et les controverses qu'ils vivent. La comparaison entre boîtes noires et controverses ouvertes dévoile des visions de la science aussi différentes l'une de l'autre que les deux faces de Janus : l'une est vivante, l'autre est austère, l'une est incertaine, l'autre est sûre d'elle-même, l'une est informelle et changeante, l'autre est formaliste et réglée. « La science en train de se faire » à droite, ou « la science toute faite » ou la « science prêt-à-porter » à gauche, tel est le double visage de Janus, premier personnage que nous rencontrons dans notre voyage.

Le paradoxe, c'est qu'il n'y a guère de rapport entre la science et la recherche scientifique. Et pourtant il n'y a rien dans la science faite qui n'ait été un jour dans la science incertaine et vivante. Aucun fait, aucune certitude, aucune forme, que l'on ne puisse réanimer, réagiter, réchauffer, rouvrir. Il suffit seulement de se déplacer dans le temps et dans l'espace jusqu'à toucher le lieu où la boîte noire est le principal sujet de controverse des chercheurs et des ingénieurs.

Telle est notre première décision : nous accéderons à la science et à la technique par la porte dérobée de la science en train de se faire, et non par l'entrée plus grandiose de la science faite.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Maintenant que nous avons choisi la voie d'accès, il nous reste à déterminer les connaissances préalables dont nous devons nous munir avant de pénétrer dans l'univers de la science et de la technique. Dans le bureau de John Whittaker, le modèle de la double hélice et l'ordinateur sont clairement distincts du reste de ses préoccupations. Ils n'interfèrent ni avec son humeur, ni avec les problèmes financiers de l'Institut, ni avec les importantes subventions demandées par son patron, ni avec la lutte politique qu'ils ont tous engagée pour créer en France une grande banque de données en biologie moléculaire. Ils sont simplement présents en toile de fond, leur contenu scientifique et technique se distinguant nettement du désordre dans lequel John est plongé. S'il souhaite savoir quelque chose sur la structure de l'ADN, il suffit à John d'ouvrir la *Biologie moléculaire du gène* et s'il a des doutes sur l'Eclipse il n'a qu'à prendre le *Manuel de l'utilisateur* qui sont à sa disposition sur l'étagère. Mais, à Westborough ou à Cambridge, cette *claire distinction entre contexte et contenu* n'existait justement pas.

Scène 4. Tom West disparaît dans la cave d'un immeuble où un ami lui permet pendant une nuit de scruter les entrailles d'un ordinateur VAX. West en extrait les cartes portant des circuits imprimés et observe de près le modèle du concurrent. Dès sa première analyse, il confronte les calculs techniques et de rentabilité aux décisions stratégiques déjà prises. Quelques heures suffisent pour le rassurer.

> « J'ai vécu pendant un an dans la peur de VAX », raconta West plus tard. [...] « Mon moral a monté en flèche lorsque je l'ai regardé et que j'ai vu à quel point il était complexe et cher. Je me suis senti rasséréné par rapport à certaines décisions que nous avions prises. »

Son évaluation se complique ensuite lorsqu'il y mêle des caractéristiques sociales, de style et d'organisation.

> En examinant les entrailles du VAX, West se disait qu'il avait devant les yeux un schéma de l'organisation de la firme DEC. Il trouvait VAX trop compliqué. Il n'aimait pas, par exemple, le système de communication des différentes parties de la machine ; l'aspect protocolaire, à son goût, occupait trop de place. Il se dit que VAX incarnait les défauts de l'organisation de la firme DEC. La machine exprimait ce style bureaucratique, prudent, qui avait assuré à la compagnie un succès considérable. Était-ce fondé ? West disait que cela n'avait

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

> aucune importance, que la théorie était utile. Puis il reformula son opinion. « Avec VAX, DEC a tenté de minimiser les risques », dit-il, tout en dépassant une voiture. Grimaçant, il poursuivit : « Essayons de maximiser le gain et faisons en sorte qu'Eagle aille aussi vite qu'un lièvre qui détale. » [Kidder : 1981, p. 36.]

Cette évaluation de son concurrent à partir d'éléments hétérogènes n'est pas un moment marginal dans l'histoire ; il s'agit de l'épisode crucial où West décide que, malgré un retard de deux ans, l'opposition du groupe de Caroline du Nord et l'échec du projet *EGO*, le projet *Eagle* devait aller de l'avant. « Organisation », « goût », « protocole », « bureaucratie », « minimisation des risques » ne sont pas des termes habituels pour décrire une puce électronique. Cela n'est vrai cependant que pour les puces vendues aux clients comme autant de boîtes noires. Quand il s'agit d'en construire une nouvelle, au contraire, tous ces termes se mélangent complètement avec les termes techniques. Sous l'épreuve, le contexte et le contenu fusionnent.

Scène 5 : Jim Watson et Francis Crick se sont procuré, par l'intermédiaire du fils de Pauling, l'article qui révèle la structure de l'ADN découverte par Pauling père :

> Une nouvelle d'importance se lisait sur le visage de Peter quand il entra, et mon estomac se noua d'angoisse, tant je craignais d'apprendre que tout était perdu. Voyant que ni Francis ni moi ne supporterions un plus long suspense, il nous dit rapidement que le modèle était une hélice à trois chaînes avec au centre un squelette sucre-phosphate. Cela ressemblait si singulièrement à notre effort avorté de l'année précédente que je me demandai aussitôt si nous n'aurions pas pu nous arroger plus tôt le crédit et la gloire d'une grande découverte, si Bragg ne nous avait pas retenus. [Watson : 1968, p. 102.]

Etait-ce Bragg qui leur avait fait manquer une découverte majeure, ou Linus Pauling qui avait perdu une bonne occasion de se taire ? Francis et Jim se jetèrent sur l'article et regardèrent si l'armature de phosphate-sucre était suffisamment solide pour assurer la cohésion de la structure. A leur surprise, les trois chaînes décrites par Pauling ne comportaient aucun atome d'hydrogène pour lier les trois brins. Et pourtant, ils étaient des éléments essentiels pour que la structure se maintienne, pour autant que tout ce qu'ils avaient appris en chimie fût valable.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

> Mais Linus, incontestablement le chimiste le plus astucieux du monde, était parvenu à la conclusion opposée. Voyant Francis se montrer comme moi surpris par la chimie peu orthodoxe de Pauling, je commençai à respirer. Je compris alors que nous n'étions pas hors jeu. Ni l'un ni l'autre, cependant, nous n'avions la moindre idée des raisons pour lesquelles Linus avait commis cette bévue. Si un étudiant avait fait la même erreur, on l'aurait jugé indigne de l'enseignement dispensé au laboratoire de chimie du Cal Tech. Donc, pour commencer, nous ne pouvions que chercher à savoir si le modèle de Linus résultait d'une réévaluation révolutionnaire des propriétés acide-base des très grandes molécules. Le ton du manuscrit cependant était en contradiction avec un tel progrès en matière de chimie théorique. [Watson : 1968, p. 103.]

Pour savoir s'ils pouvaient prétendre rester dans la course, Watson et Crick devaient juger en même temps la réputation de Linus Pauling, la chimie ordinaire, le ton de l'article et le niveau des étudiants du Cal Tech ; de deux choses l'une : soit une révolution était en train de se produire, auquel cas ils auraient été hors course, ou une énorme bourde avait été commise, auquel cas il leur fallait accélérer encore davantage car Pauling n'allait pas tarder à se reprendre et à les doubler :

> Quand son erreur serait connue, Linus n'aurait de cesse qu'il n'ait trouvé la bonne structure. Actuellement notre espoir était que ses collègues chimistes fussent tellement impressionnés par son autorité qu'ils ne vérifient pas les détails de son modèle. Mais comme le manuscrit avait été envoyé aux *Proceedings of the National Academy*, l'article serait connu de tous à la mi-mars au plus tard. Ce ne serait alors qu'une question de jours et l'erreur serait découverte. Nous n'avions devant nous qu'environ six semaines avant que Linus ne se lançât à nouveau à plein temps à la chasse à l'ADN. [Watson : 1968, p. 104.]

« Suspense », « course », « ton », « retard de publication », « crainte », « délai de six semaines » ne sont pas des mots habituellement utilisés pour décrire la structure d'une molécule. Cela est vrai quand la structure est connue et qu'elle est enseignée à tous les étudiants. Mais, quand elle est incertaine et qu'elle est éprouvée par tous les concurrents, ces mots étranges font partie intégrante de la structure chimique. Là encore, au moment de l'épreuve, le contexte et le contenu ne se distinguent pas.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

On voit que l'équipement nécessaire pour voyager dans la science et la technologie est en même temps léger et multiple. Multiple parce qu'il mélange les liaisons hydrogène avec les échéances d'un article, avec l'autorité de certaines personnes, avec des questions d'argent, avec des questions de mise au point finale et de style bureaucratique ; mais il est en même temps léger parce qu'il implique que l'on abandonne tous les préjugés sur ce qui distingue le contexte dans lequel s'insère la connaissance et la connaissance elle-même. A la porte de l'Enfer de Dante il est inscrit :

TOI QUI ENTRES ICI ABANDONNE TOUT ESPOIR.

Au commencement de ce voyage il devrait être inscrit : TOI QUI ENTRES ICI, ABANDONNE TOUT SAVOIR SUR LE SAVOIR. Apprendre en 1989 ce qu'est la double hélice ou comment faire marcher l'Eclipse pour écrire des programmes ne révèle aucun de ces étranges mélanges dont ils se composaient autrefois. Étudier ces sujets en 1952 ou en 1980 les révèle tout entiers. Sur les deux boîtes noires qui se trouvent dans le bureau de Whittaker il est inscrit, comme sur la boîte de Pandore : NE PAS OUVRIR. DANGER. Mais à Cavendish et chez Data General des passions, des échéances, des décisions s'échappent dans toutes les directions d'une boîte qui n'est pas encore fermée et sur laquelle il est écrit : NE PAS FERMER TROP VITE. DANGER. Pandore, l'androïde mythique envoyé par Zeus à Prométhée pour se venger de lui, est le second personnage après Janus qui vient nous saluer au commencement de notre périple. (Nous pourrions avoir besoin de plus d'une bénédiction venant de plus d'un dieu antique si nous voulons être sûr d'atteindre le but que nous nous sommes fixé.)

2. Quand assez n'est jamais assez

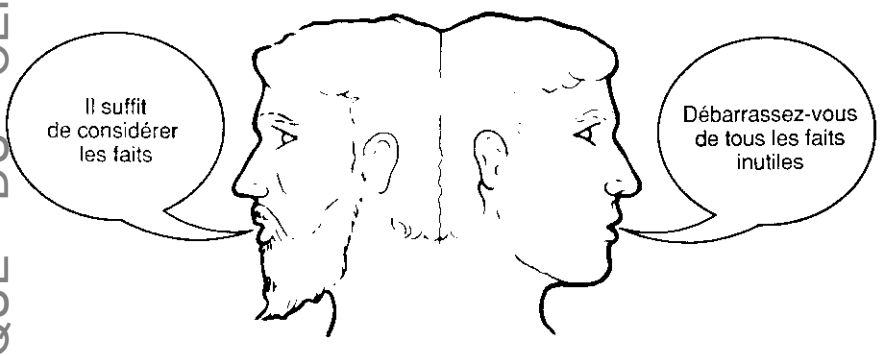
La science a deux visages : l'un sait, l'autre pas encore. Nous choisirons le plus ignorant des deux. Ceux qui appartiennent à la science, comme ceux qui lui sont extérieurs, fourmillent d'idées sur la science en train de se faire. Quant à nous, nous aurons aussi peu d'idées que possible sur ce qui constitue la science. Mais comment allons-nous rendre compte de la fermeture des boîtes, car enfin elles se ferment bien ? Chez John, en 1989, la forme de la double hélice est en fin de

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

compte bien établie ; de même que celle de l'ordinateur Eclipse MV/8000. Comment ce qui s'est passé à Cavendish en 1952 ou à Westborough, Massachusetts, en 1980, se retrouve-t-il à Paris, en 1989, stable et tranquille ? Si les controverses constituent une bonne entrée dans le sujet, il nous faut également rendre compte du moment de leur clôture. Nous devons alors nous familiariser avec un phénomène acoustique étrange. Les deux faces de Janus parlent en même temps et disent des choses entièrement différentes qu'il s'agit de ne pas confondre.

Figure I.2

Premières paroles de Janus



Scène 6. Jim recopie sur différents manuels les formes des paires de bases qui constituent l'ADN et les manipule pour tenter de trouver une symétrie lorsqu'il les apparie. A sa surprise l'adénine couplée avec l'adénine, la guanine avec la guanine et la thymine avec la thymine formaient de jolies formes superposables. Bien que cette symétrie donnât une forme bizarre à l'armature sucre-phosphate, cela ne suffit pas à arrêter son élan. Il écrivit à son patron une lettre triomphante.

> Je n'étais pas plutôt au bureau, expliquant ma conception au cristallographe américain Jerry Donohue, qu'il objecta que cette idée ne collait pas. Les formes tautomériques que j'avais copiées dans le livre de Davidson n'étaient pas, selon Donohue, correctement reproduites. Ma réponse immédiate, que plusieurs autres textes représentaient aussi la guanine et la thymine sous forme énolique, n'entama pas l'opinion de Jerry. Il affirma joyeusement que pendant des années les organiciens avaient arbitrairement préféré certaines formes tautomériques à certaines autres sous les prétextes les plus futiles.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

> [...] Bien que ma réaction immédiate fût d'espérer que Jerry se trompe, je n'écartai pas ses critiques. Après Linus, Jerry était celui qui en connaissait le plus au monde sur les liaisons hydrogène. Comme il avait travaillé au Cal Tech de nombreuses années sur les structures de petites molécules organiques, je ne pouvais me leurrer et croire qu'il ne saisissait pas notre problème. Pendant les six mois où il partagea notre bureau, je ne l'avais jamais entendu s'exprimer sur des sujets dont il ne connaissait rien. Très ennuyé, je me remis au travail en espérant que quelque astuce surgirait pour sauver l'idée de l'appariement de bases identiques. [Watson : 1968, p. 198-200.]

Jim avait extrait les faits directement des manuels qui, tous unanimement, lui fournissaient une jolie boîte noire : la forme énol. Mais dans ce cas, c'était précisément ce fait qu'il s'agissait de déconstruire ou de remettre en question. C'était au moins ce que prétendait Jerry Donohue. Mais qui Jim devait-il croire ? Lui fallait-il s'en remettre à l'opinion unanime des chimistes organiciens ou à l'opinion particulière de *ce* chimiste ? Jim, qui tentait de sauver son modèle, changea de règle de méthode : au lieu de s'en tenir aux faits, il opta pour un comportement plus proche de la stratégie — rechercher le point faible, ne se fier à personne. Donohue avait étudié avec Pauling, il avait travaillé sur les petites molécules, en six mois il n'avait proféré aucune absurdité. On voit que, pour prendre une décision, Jim considère pêle-mêle la discipline, l'affiliation, le curriculum vitæ, le profil psychologique. Il décide que mieux vaut sacrifier l'opinion unanime des manuels et son joli modèle, plutôt que d'encourir les critiques du seul Donohue. Le fait, si évident qu'il soit, dut être abandonné.

> Il ne fut pas question du bénéfice inopiné que nous devions à la présence de Jerry dans la pièce que nous partagions, Francis, Peter, lui et moi, bien qu'il fût évident pour chacun. S'il n'avait pas été à Cambridge, j'en serais encore à m'acharner sur une structure d'appariement de bases identiques. Maurice, dans un labo privé de chimistes structuraux, n'avait eu personne pour lui dire que toutes les figures publiées étaient fausses. En dehors de Jerry, seul Pauling aurait été capable de faire le bon choix et de se cramponner à ses conséquences. [Watson : 1968, p. 214-215.]

Le conseil émis par la face gauche de Janus est facile à suivre une fois que les choses sont bien établies, mais il ne sert

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

à rien pendant le cours de la recherche. Les faits de chimie universellement connus, à gauche, deviennent, à droite, des affirmations rarissimes qui sont prononcées par deux personnes dans le monde entier. Leur qualité dépend de façon cruciale du lieu, du hasard, de l'estimation portée en même temps sur la valeur des gens et sur ce qu'ils disent.

Deuxièmes paroles de Janus

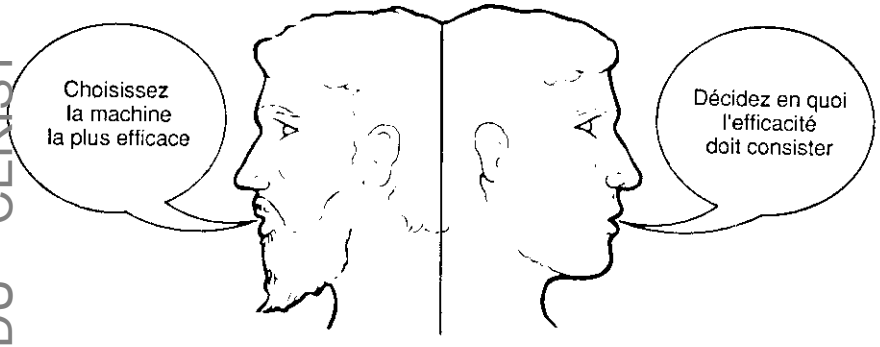


Figure I.3

Scène 7. West et son principal collaborateur, Alsing, discutent de la méthode pour démarrer le programme de mise au point de leur machine.

> « Je veux construire un simulateur, Tom.
> — Ça va prendre trop longtemps, Alsing. La machine sera au point avant que votre simulateur le soit. »
> Cette fois Alsing insista. Ils ne pourraient pas finir *Eagle* en moins d'un an s'ils avaient à mettre au point l'ensemble du programme sur des prototypes. S'ils procédaient ainsi, en plus, ils auraient besoin d'au moins un sinon deux prototypes et ce dès le départ, ce qui signifiait un doublement du travail fastidieux et éreintant de remise à jour des cartes. Alsing voulait un programme capable de se comporter comme un parfait *Eagle*, de façon à pouvoir mettre au point le programme indépendamment du matériel.
> West lui dit : « Vas-y. Mais je te parie que tout sera terminé au moment où tu l'auras. » [Kidder : 1981, p. 146.]

Le conseil de la face gauche de Janus est suivi à la lettre par les deux hommes qui ont justement comme but de construire le meilleur ordinateur possible. Mais cela n'empêche

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

pas qu'une nouvelle controverse éclate entre eux sur la façon de simuler le fonctionnement d'une machine. Si Alsing ne parvient pas à convaincre l'un des collègues de l'équipe, Peck, de terminer en six semaines le simulateur qui aurait dû prendre un an et demi, alors West aura raison : le simulateur n'est pas la procédure efficace parce qu'il arrivera trop tard. Mais si Alsing et Peck réussissaient, c'est la définition par West de l'efficacité qui se révélerait inexacte. L'efficacité sera la conséquence de celui qui réussit ; elle ne permet pas de départager, sur le coup, celui qui a raison et celui qui a tort. Le conseil de la face de gauche est parfait, une fois que l'Eagle part en fabrication ; avant, c'est la stratégie confuse suggérée par la face de droite qui doit être suivie.

Troisièmes paroles de Janus

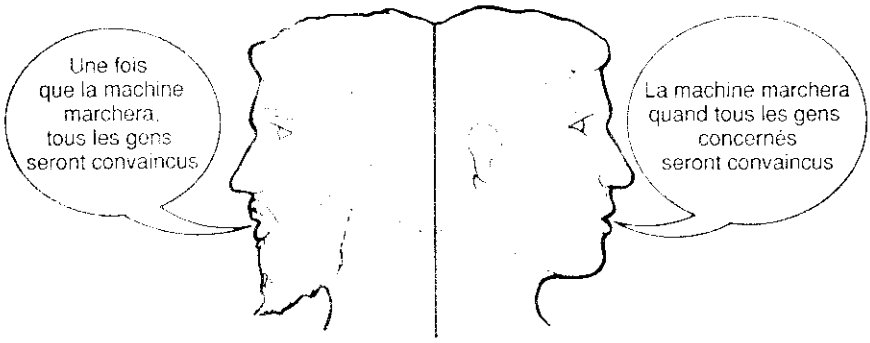


Figure I.4

Scène 8. West avait isolé son équipe pendant deux ans du reste de l'entreprise. « Certains des gars, dit-il, ne se rendent pas compte qu'il y a une entreprise derrière tout ça. Les financements pourraient venir de la CIA, ça ne leur ferait ni chaud ni froid. Cela pourrait aussi bien être une expérience psychologique » [Kidder : 1982, p. 200]. Mais pendant ce temps, West n'avait pas cessé de faire pression sur l'entreprise pour défendre *Eagle*. Agissant comme intermédiaire, il avait assoupli les contraintes imposées sur la future machine par De Castro (le grand patron), le département commercial, le centre de recherches en Caroline du Nord, les autres machines présentées dans les salons informatiques, etc. Il était aussi le seul qui continuait à négocier des délais, jamais respectés. Mais il arriva un moment où tous les autres départements sur lesquels il avait fait pression furent impatients de voir quelque chose et l'invi-

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

tèrent à mettre cartes sur table. La situation se tendit en particulier lorsqu'il apparut clairement que le groupe de Caroline du Nord n'était pas sur le point d'aboutir à une machine, que DEC vendait ses VAX comme des petits pains et que tous les clients réclamaient à Data General un supermini compatible 32 bits. West fut alors contraint de briser la coquille protectrice qu'il avait construite autour de son équipe. Pour assurer sa position, il avait conçu une machine correspondant aux intérêts des autres départements, mais sans savoir exactement comment ils allaient réagir ni les remous qui allaient agiter son équipe brusquement dépossédée de sa machine.

> Lorsque vint l'été, des personnes extérieures furent introduites en grand nombre dans le laboratoire — des programmeurs spécialisés dans le diagnostic, provenant en particulier des départements Logiciel de la compagnie. Quelques gars de la bande du Matos s'étaient attachés aux prototypes de Eagle, comme à un animal ou à une plante que l'on a élevé dès son plus jeune âge. Et voilà que Rasala leur disait qu'ils ne pouvaient pas travailler sur leurs machines à certaines heures, parce que Logiciel en avait besoin. Il y avait une explication : le projet se trouvait dans une phase délicate ; si l'on ne parvenait pas à amadouer les gens de Logiciel, s'ils n'appréciaient pas le matériel, s'ils n'en parlaient pas avec enthousiasme, le projet courait à sa perte ; les gars de la bande du Matos avaient de la chance que Logiciel veuille bien utiliser les prototypes — et ils devaient tout faire pour que Logiciel soit satisfait. [Kidder : 1981, p. 201.]

Il fallait non seulement satisfaire les gens de Logiciel, mais aussi les équipes de fabrication, du marketing, les rédacteurs de la documentation technique, les designers chargés de conditionner l'ensemble de la machine dans un boîtier de belle apparence, sans parler des actionnaires et des clients. Bien que West ait conçu la machine et qu'il ait réussi, après de multiples compromis, à contenter et à occuper tout ce monde, il n'était pas assuré de les maintenir ensemble. Chaque groupement d'intérêts s'escrimait sur la machine avec une batterie différente de tests pour voir comment elle y résistait. Le pire pour Tom West aurait été que l'entreprise qui fabriquait les nouvelles puces PAL fît faillite, ou que l'équipe souffrît d'une dépression *post-partum*, tout cela avant que la machine ne fût parfaitement au point. « Notre crédibilité, je crois, est en chute libre », confia West à ses assistants. Eagle ne fonctionne toujours pas plus que quelques secondes d'affilée avant que des messages d'erreurs clignotants apparaissent sur l'écran. Chaque fois que les ingénieurs finissent par localiser — à grand-peine — le défaut de fonctionnement, et qu'ils l'éliminent, c'est pour passer à une nouvelle étape, plus délicate, de mise au point.

Eagle échouait mystérieusement aux tests de fiabilité en mul-

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

> tiprogrammation. Il s'évanouissait, se plantait, se retrouvait dans un pays imaginaire, dans une sorte de bout du monde après quatre heures de fonctionnement sans problèmes.
>
> « Les machines qui en sont au moment des derniers "bugs" sont toujours très vulnérables », dit Alsing. Les rumeurs allèrent bon train. Ça ne marchera jamais, etc., commencèrent à dire décideurs et groupes de soutien. Les parasites disaient : « Je pensais que vous l'auriez fini beaucoup plus vite. » C'est à partir de là que l'on commença à parler de revoir complètement la conception.
>
> Alsing ajouta : « Regardez bien ce que va faire Tom maintenant. »
>
> West grommela dans son bureau : « Je pense que je vais débarrasser le laboratoire de ces gars, et je vais m'y mettre avec Rasala jusqu'à ce que ça marche. D'accord. Je ne comprends pas tous les détails de ce machin, mais je veux le faire fonctionner, et j'y arriverai.
>
> — Donnez-moi quelques jours de plus », dit Rasala. [Kidder : 1981, p. 231.]

Quelques semaines plus tard, après que l'Eagle eut réussi à faire tourner un programme de jeu appelé *Adventure*, toute l'équipe eut le sentiment que le but était proche. « Maintenant c'est un ordinateur », dit Rasala [Kidder : 1981, p. 233]. Le lundi 8 octobre, une équipe de maintenance vint pour rouler le long du hall vers l'usine de fabrication ce qui devenait rapidement une boîte noire. Pourquoi les choses avaient-elles ainsi tourné ? Parce que c'est une bonne machine, dit la face gauche de notre ami Janus. Mais ce n'était pas une bonne machine avant qu'elle ne marche. Tout au long du processus de fabrication, personne n'était convaincu de son bon fonctionnement. C'est parce qu'il avait fallu tenir compte, tout du long, de ceux qui allaient finalement juger de la bonne marche de la machine que la machine en vint *finalement* et *progressivement* à bien fonctionner. Les raisons que l'on donnera plus tard, quand elle fonctionnera, au succès de la machine, ne servent pas aux ingénieurs, sur le coup, à décider quelle est la meilleure décision à prendre pour que la machine fonctionne.

Scène 9. Comment l'histoire de la double hélice s'est-elle terminée ? Lors des séries d'épreuves qui furent infligées à leur nouveau modèle, Jim Watson et Francis Crick connurent des succès et des revers. Jim raffina le modèle des cartons des paires de bases, qui se présentait

désormais sous la forme cétonique suggérée par Jerry Donohue. Et voilà que, ô surprise ! les formes obtenues en appariant l'adénine avec la thymine et la guanine avec la cytosine devenaient superposables. Les paliers de la double hélice avaient la même forme. Contrairement au modèle précédent, il pouvait s'agir cette fois de deux structures complémentaires et non plus similaires. Il hésita un moment, ne voyant tout d'abord aucune raison susceptible d'expliquer cette complémentarité. Puis il se souvint de ce que l'on appelait les « lois de Chargaff », l'un de ces nombreux faits empiriques qu'il avait laissés en arrière-plan. Ces « lois » stipulaient qu'il y avait toujours autant d'adénine que de thymine et autant de guanine que de cytosine, quel que soit l'ADN analysé. Ce fait isolé, dépourvu de signification dans le modèle antérieur de similarité, renforçait soudain le nouveau modèle naissant. Non seulement les paires étaient superposables, mais les lois de Chargaff pouvaient s'interpréter comme une conséquence de son modèle. En outre ce modèle impliquait un mode de division du gène en deux parties et la possibilité pour chacun des brins de recréer une copie de lui-même qui en était l'exact complémentaire. Ainsi, une hélice pouvait donner naissance à deux hélices identiques. Et le modèle acquérait un sens biologique qui contribuait à le renforcer.

Malgré ces trois avantages le modèle en carton de Jim pouvait encore être remis en cause. Peut-être Donohue allait-il à nouveau le démolir comme il avait tenté de le faire quelques jours plus tôt. Jim alla donc le voir pour lui demander s'il avait une objection à formuler. « Lorsqu'il répondit négativement, mon moral fit un bond » [Watson, 1968, p. 202]. Ce fut ensuite au tour de Francis de se précipiter au laboratoire et d'« opérer plusieurs regroupements différents des bases ». Le modèle, cette fois, résistait au scepticisme de Francis. De nombreux éléments décisifs étaient désormais liés au nouveau modèle et liés entre eux par son intermédiaire.

Il restait néanmoins que tous les partisans de la nouvelle structure travaillaient au même endroit : bien qu'ils fussent convaincus d'avoir raison, on ne pouvait encore exclure complètement la possibilité qu'ils se fussent monté la tête. Qu'allaient en penser Bragg et les autres cristallographes ? Quelles objections allaient soulever Maurice Wilkins et Rosalind Franklin, les seuls qui disposaient d'images de l'ADN ? Allaient-ils voir dans ce modèle *la* seule forme capable de produire, par projection, la forme visible sur les photographies de Rosalind ? Ils auraient aimé le savoir vite mais craignaient que ceux qui avaient déjà à plusieurs reprises ruiné leurs efforts ne leur portent une fois encore le coup de grâce. En outre, un autre allié manquait à l'appel, certes modeste mais nécessaire tout de même : « Car cette nuit, nous n'avons pu construire un modèle solide de la double hélice. Jusqu'à ce nous disposions de bases métalliques, toute construction de modèle était trop mal ajustée pour être convaincante » [Watson, 1968, p. 127]. Même avec les lois de Chargaff derrière eux, avec une belle explication biologique

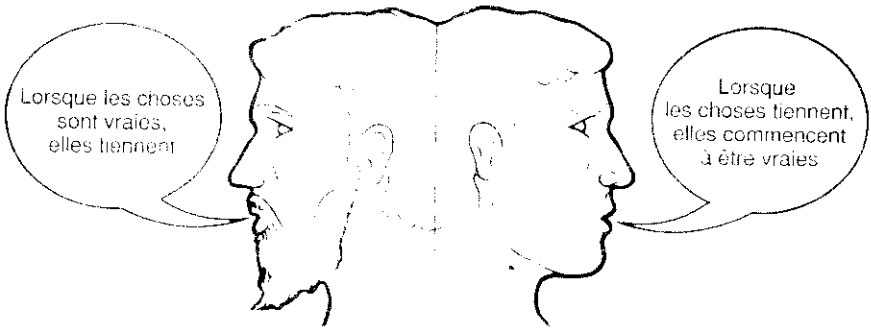
BIBLIOTHEQUE DU CERIST

de la réplication, avec l'approbation de Donohue, avec leur excitation, avec l'appariement des bases qui allait dans leur sens, l'hélice était encore fragile. Il fallait du métal pour que la structure puisse résister assez longtemps pour pouvoir subir les épreuves que les collègues/concurrents allaient lui infliger.

Le reste de l'histoire de la double hélice se présente comme l'après-premier tour d'une élection quand il y a eu ballottage. Chacun des candidats, introduit dans le bureau de celui qui a été retenu, tente de le combattre, et, rapidement vaincu, se met à plaider un soutien total en sa faveur. Bragg est convaincu mais reste préoccupé que personne de plus sérieux que Jim et Francis n'ait vérifié la solidité de l'hélice. Voici venue l'heure fatidique, la confrontation entre le modèle et ceux qui pendant des années ont saisi sa projection sur les photographies à Londres. « Maurice n'eut pas besoin de regarder le modèle plus d'une minute pour l'aimer. » « Il était rentré depuis deux jours seulement à Londres, quand il nous téléphona pour dire que Rosy et lui trouvaient que leurs résultats étaient pleinement conformes avec l'hypothèse de la double hélice » [p. 215]. Pauling lui-même n'attendit pas longtemps pour se rallier au modèle, suivi bientôt par le comité de lecture de *Nature*.

Figure 1.5

Quatrièmes paroles de Janus



« Bien sûr », dit la face gauche de Janus, « tout le monde est convaincu, parce que Jim et Francis sont tombés sur le bon modèle. — Non, rétorque la face droite, chaque fois que quelqu'un d'autre s'y rallie, cela devient progressivement le bon modèle. » Assez n'est jamais assez : Pauling défendit vigoureusement son propre modèle qui s'était révélé faux ; Jim trouva une interprétation biologique en développant un modèle par appariement des semblables qui ne survécut que

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

quelques heures ; Rosalind Franklin avait pris fait et cause plus tôt pour un modèle d'hélice à trois brins ; Wilkins ignorait la forme cétonique révélée par Jerry Donohue ; les lois de Chargaff étaient un fait insignifiant resté longtemps à l'arrière-plan ; quant aux jeux avec les atomes de métal, ils avaient servi de support à des modèles innombrables qui s'étaient révélés faux. Tous ces alliés apparaissent puissants à partir du moment où le modèle s'est transformé en boîte noire. Avant qu'il ne le devînt, Jim et Francis eurent à se battre continuellement pour recruter de nouveaux alliés, modifiant la structure de l'ADN jusqu'à ce que tous fussent satisfaits. Une fois ce travail accompli, ils purent suivre le conseil de la face gauche de Janus. Mais tant qu'ils en étaient à chercher la bonne forme de l'ADN, il était bien plus judicieux de s'en tenir aux conseils confus de la face droite.

Nous pourrions passer en revue toutes les opinions qui se proposent d'expliquer pourquoi une controverse se clôt, mais nous tomberons immanquablement sur une nouvelle controverse portant sur la façon et les motifs de sa clôture. Il nous faut apprendre à vivre avec deux voix contradictoires qui parlent en même temps, l'une de la science en train de se faire, l'autre de la science « faite ». La face gauche considère que les faits et les machines sont suffisamment bien déterminés. La face droite considère qu'ils sont toujours **sous-déterminés** [3]. Il manque toujours un petit quelque chose pour fermer la boîte noire une fois pour toutes. Jusqu'à la dernière minute *Eagle* peut échouer si West ne veille pas suffisamment à maintenir l'intérêt des gens de Logiciel en éveil, ou à maintenir la tension dans l'équipe chargée de la mise au point, ou à intéresser les membres du service commercial à la machine.

3. Notre première règle de méthode

Nous allons analyser les faits et les machines dans le courant même de leur fabrication ; nous ne nous embarrasserons

3. Cette notion de sous-détermination est également appelée principe de Duhem-Quine. Elle énonce qu'un seul facteur n'est pas suffisant pour expliquer la clôture d'une controverse ou la certitude acquise par les hommes de science. Ce principe forme la base philosophique de la plus grande partie de l'histoire sociale de la sociologie des sciences. Voir CHALMERS [1987].

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

d'aucun préjugé sur ce qui constitue la connaissance ; nous étudierons la fermeture des boîtes noires et veillerons à distinguer deux explications contradictoires de cette fermeture, l'une qui apparaît quand tout est fini, l'autre en cours de fabrication. Telle est notre **première règle de méthode**, et c'est elle qui rendra le voyage possible.

La forme générale de ce livre pourrait être résumée par l'expérience de pensée suivante : prenez une phrase extraite d'un manuel, dépourvue de toute trace d'élaboration, de construction ou d'appropriation — par exemple que la molécule d'ADN a la forme d'une double hélice ; placez ensuite cette phrase entre guillemets : « La molécule d'ADN a la forme d'une double hélice » ; puis, comme dans les bandes dessinées, placez cette citation dans une bulle qui sort de la bouche bien réelle de quelqu'un qui parle — « Les types de Cambridge prétendent que la molécule d'ADN a la forme d'une double hélice » ; ensuite, imaginez devant ce personnage un autre personnage à qui il parle et qui n'est pas d'accord — « Mais c'est impossible, dit Rosalind, ils n'ont aucune preuve » ; ajoutez maintenant le décor, les lieux, les moments, les équipements, les machines, les collègues ; maintenant que la controverse s'incarne et se précise, reconstituez la foule mobilisée par la discussion ; attention, voici le tournant de l'expérience ; la foule assemblée s'arrête de tergiverser ; les situations, les lieux, les gens mêmes commencent lentement à s'effacer, ils disent tous la même chose, dans la même bulle — « Watson et Crick prétendent que la molécule d'ADN a la forme d'une double hélice » ; et nous voici revenus à notre point de départ, la même phrase entre guillemets, puis sans guillemets, l'évidence indiscutable dans un manuel. Tel est le mouvement général de ce que nous allons étudier au cours de ce livre : nous entrerons dans la science de l'extérieur, nous suivrons ses controverses et accompagnerons les chercheurs jusqu'au bout et serons lentement conduits hors de la science en train de se faire jusqu'à la science indiscutable.

Malgré la richesse, la confusion, l'ambiguïté et la fascination qui se révèlent ainsi, il est étonnant de constater combien peu nombreux sont ceux qui, venus de l'extérieur, ont pénétré les rouages internes de la science et de la technique et en sont ressortis pour en proposer une explication qui soit compréhensible au profane et qui ne dépende pas trop des

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

scientifiques eux-mêmes. Certes, nombreux sont les jeunes gens qui sont entrés dans la science, mais ils sont devenus chercheurs ou ingénieurs ; ce qu'ils ont fait se voit dans les machines que nous utilisons, dans les manuels que nous étudions, les médicaments que nous absorbons, les paysages que nous contemplons, les satellites qui brillent la nuit au-dessus de nos têtes. Pourtant nous ignorons comment ils s'y sont pris. Certes il y a des chercheurs pour parler de la science, de ses voies et de ses moyens, mais bien peu acceptent la discipline de se situer à l'extérieur d'elle ; ce qu'ils en disent est difficile à vérifier en l'absence d'un examen approfondi conduit de manière indépendante. D'autres, les épistémologues, parlent de la science, de sa solidité, de ses fondations, de son développement ou de ses dangers ; malheureusement ils ne s'intéressent pratiquement jamais à la science en train de se faire. Ils se dérobent au joyeux fouillis qu'est la science en action et lui préfèrent le bel ordonnancement de la méthode et de la rationalité scientifiques. La défense de la science et de la raison contre les pseudo-sciences, contre la fraude, contre l'irrationalité les occupe trop pour qu'ils aient du temps à consacrer à sa pratique. Quant aux millions — ou aux milliards — de gens qui sont extérieurs à la science, ils ne la connaissent qu'à travers la vulgarisation. Les faits et les artefacts que les sciences produisent retombent sur leurs têtes comme un sort venu de l'extérieur, et qui reste aussi étranger, aussi inhumain, aussi imprévisible que l'était le *fatum* des Romains.

Si nous faisons abstraction de ceux qui font la science, qui l'étudient, qui la défendent ou se soumettent à elle, il reste heureusement quelques personnes, de formation scientifique ou non, qui ouvrent les boîtes noires pour permettre aux non-scientifiques de se faire une idée de ce qui s'y passe. Ils portent des noms divers, historiens des sciences et des techniques, économistes, sociologues, sémioticiens, professeurs de disciplines scientifiques, analystes en science politique, journalistes, philosophes, chercheurs, militants, anthropologues, cogniticiens ou psychologues, et sont parfois regroupés sous le label : « Science, technologie et société ». C'est à partir de leurs travaux que ce livre a été conçu. J'aurais pu dresser le sommaire de leurs nombreux *résultats*, mais cela aurait dépassé mes connaissances et n'aurait pas contribuer à orga-

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

niser un domaine dont beaucoup nient l'existence et même la possibilité. Plutôt que d'exposer leurs résultats, j'ai souhaité résumer ce qu'il y a de plus radical et de plus cohérent dans leur *méthode*. Ce faisant je souhaite contribuer à surmonter deux limitations du domaine « Science, technologie, société » qui me semblent affaiblir son impact, à savoir son organisation *par discipline* et *par objet*.

Les économistes de l'innovation ignorent les sociologues des techniques ; les cogniticiens n'ont jamais recours aux études sociales de la science ; l'ethnoscience est extrêmement éloignée de la pédagogie ; les historiens des sciences n'attachent guère d'importance aux études littéraires ou à la rhétorique ; les sociologues des sciences ne voient souvent pas de relation entre leur travail de recherche et les expériences *in vivo* effectuées par les chercheurs ou citoyens appartenant à des groupes militants en lutte contre certains aspects des techniques ; les journalistes citent rarement des travaux universitaires portant sur l'étude sociale de la science ; et ainsi de suite.

Cette tour de Babel des disciplines ne serait guère préoccupante si elle ne s'aggravait pas d'une autre division portant sur les objets propres à chacune d'elles. Il existe des historiens de la chimie du XVIII[e] siècle ou de la physique allemande du tournant du siècle ; même les associations militantes sont spécialisées : certaines luttent contre l'énergie atomique, d'autres contre l'industrie pharmaceutique, d'autres encore contre la réforme de l'enseignement des mathématiques ; certains cogniticiens étudient les jeunes enfants dans des situations expérimentales tandis que d'autres s'intéressent au raisonnement quotidien chez l'adulte ; même chez les sociologues, on en trouve qui sont spécialisés dans la microsociologie des sciences et d'autres qui s'intéressent aux projets d'ingénierie à grande échelle ; les historiens des techniques s'alignent souvent sur les spécialités techniques des ingénieurs : il y a ceux qui étudient l'industrie aéronautique et d'autres qui lui préfèrent les télécommunications ou le développement des machines à vapeur ; il en va de même des anthropologues qui étudient la « pensée sauvage », très peu s'intéressant à la « pensée civilisée ». Cet éparpillement des disciplines et des objets ne serait pas préoccupant s'il était le signe d'une *spécialisation* nécessaire et féconde, se développant à partir d'un noyau de problèmes et de méthodes

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

communs. Mais c'est loin d'être le cas. Les sciences et les techniques à étudier constituent le principal facteur de détermination de cette croissance au petit bonheur des intérêts et des méthodes. Je n'ai jamais rencontré deux personnes qui fussent d'accord sur ce dont est fait le domaine appelé « Science, technologie et société » — j'ai d'ailleurs rarement rencontré quelqu'un qui accepte cette dénomination, voire l'existence même de ce domaine !

J'affirme que ce domaine existe bel et bien, qu'il possède un noyau commun de problèmes et de méthodes, qu'il est important, et que tous les objets et disciplines qui font partie du domaine « Science, technologie et société » peuvent être utilisés comme autant de matériaux spécialisés. Pour définir l'enjeu du domaine, il suffit de disposer de quelques ensembles de concepts suffisamment vigoureux pour supporter le voyage à travers ces nombreuses disciplines, périodes et objets.

Je suis bien conscient qu'il existe beaucoup d'autres notions plus sophistiquées, subtiles, rapides, ou puissantes que celles que j'ai choisies. Vont-elles tenir le coup ? Vont-elles tenir la distance ? Seront-elles capables de lier assez fortement entre eux les faits empiriques ? Sont-elles suffisamment maniables pour se prêter à des exercices pratiques ? Telles sont les questions qui m'ont guidé pour tirer de la littérature des **règles de méthode** et des **principes** qui font chacun l'objet d'un chapitre [4]. Les statuts de ces règles et principes sont différents, et je souhaiterais que les uns et les autres ne soient pas évalués de la même façon. Par « règles de méthode » j'entends les postulats qu'il faut accepter *a priori* pour pouvoir commencer à voir tous les faits empiriques fournis par les disciplines spécialisées qui appartiennent au domaine « Science, technologie et société ». Par « principes » j'entends ce qui est *ma* façon personnelle de résumer les faits empiriques disponibles après quinze ans de travaux dans le domaine. Je suppose donc que les principes seront débattus, contestés et remplacés par d'autres plus élégants ou plus exacts. En revanche, les règles de méthodes forment un tout qui ne peut se modifier aisément sans perdre de vue le fondement commun

4. A l'exception de la première règle de méthode définie ci-dessus. Une liste de ces règles et principes figure en fin de volume.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

que je veux esquisser. Il faut les évaluer avant tout en fonction du critère qui m'a guidé au cours de ce livre : ces règles de méthode prises ensemble permettent-elles d'intégrer le plus grand nombre d'éléments et permettent-elles à des profanes de suivre plus loin, plus longtemps et de façon plus indépendante la production scientifique et technique ? Telle est la seule règle du jeu, la seule « méta »-règle qui sera nécessaire à l'accomplissement de la tâche que je me suis assignée dans ce guide. L'ordre d'entrée en scène des phénomènes que nous allons suivre dans ce voyage à travers les sciences peut surprendre : la nature ne fait son entrée qu'à la fin du chapitre 2, la société à la fin du chapitre 3, la rationalité à la fin seulement du 5 ; quant aux ingrédients usuels, la « connaissance », les « théories », les « nombres », ils n'apparaissent qu'au milieu du tout dernier chapitre. Certains personnages qui remplissent les traités sur les sciences, comme les « idées », la « méthode » scientifique, la « vérité » ou l'« efficacité », jouent les contre-emplois. Que le lecteur ne s'étonne pas, il s'agit ici de la science qui se fait, non des résultats de la science faite !

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Table

Introduction : ouvrir la boîte noire de Pandore 7

1. La recherche d'une voie d'accès 8
2. Quand assez n'est jamais assez 16
3. Notre première règle de méthode 25

I. D'UNE RHÉTORIQUE PLUS FAIBLE A UNE RHÉTORIQUE PLUS FORTE

1. La littérature scientifique 33

A. Controverses 34

1. Modalités positives et négatives 34
2. Le destin collectif de la fabrication d'un fait 41

B. C'est l'intensité des controverses qui force la littérature à devenir technique 47

1. Faire appel aux amis 49
2. Se référer aux textes qui précèdent 52
3. Être cité par les articles qui suivent 59

C. Écrire des textes qui résistent aux assauts d'un environnement hostile 68

1. Les articles se fortifient 69
2. Tactiques pour positionner les arguments . . 77
3. La deuxième règle de méthode 91

Conclusion : des nombres, encore plus de nombres . 92

2. Les laboratoires 97

A. Des textes aux choses : une épreuve de force . . . 98

1. Inscriptions 99
2. Porte-parole 109
3. Epreuves de force 115

B. Construire des anti-laboratoires 123

1. Emprunter des boîtes un peu plus noires 124
2. Pousser les acteurs à trahir leurs représentants 130
3. Se forger de nouveaux alliés 134
4. Laboratoires contre laboratoires 143

C. L'appel à la nature 149

1. « Natur mit uns » 149
2. Le double langage de Janus bifrons 153
3. La troisième règle de méthode 157

II. DE POINTS FAIBLES EN PLACES FORTES

3. Les machines. Introduction : Le dilemme du constructeur de faits 163

A. Traduire les intérêts des autres 172

1. Traduction 1 : Je veux ce que vous voulez . . 172
2. Traduction 2 : Ce que je veux, pourquoi ne le voulez-vous pas ? 176

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

3. Traduction 3 : Si vous faisiez ne serait-ce qu'un petit détour... 177
4. Traduction 4 : redistribuer les intérêts et les buts 180
5. Traduction 5 : se rendre indispensable 192

B. Maintenir alignés les groupes intéressés 195

1. Une chaîne vaut ce que vaut son maillon le plus faible 195
2. S'attacher les faveurs d'alliés inattendus 201
3. Machiner les forces 208

C. Modèle de diffusion et modèle de traduction ... 214

1. Vis inertia... 216
2. Associations plus faibles et plus fortes..... 223
3. La quatrième règle de méthode 230

4. Les professions 236

A. Intéresser les autres aux laboratoires 238

1. Quand tout le monde se passe très bien de chercheurs et d'ingénieurs 238
2. Rendre les laboratoires indispensables 249
3. De quoi sont faites les technosciences ?..... 256

B. Faire le compte des alliés et des ressources..... 262

1. Compter sur les chercheurs et les ingénieurs. 263
2. Ne pas compter seulement sur les chercheurs et les ingénieurs 272
3. La cinquième règle de méthode 280

III. DE RÉSEAUX COURTS EN RÉSEAUX LONGS

5 Les tribunaux de la raison 289

A. Éprouver la rationalité 291

1. Peupler le monde d'esprits irrationnels 291

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

2. Renverser le verdict des jugements pour irrationalité 300
3. Redresser les croyances tordues 310

B. Socio-logique 318

1. Aller contre les affirmations d'autrui 319
2. Qu'est-ce qui est lié à quoi ? 324
3. Dresser la carte des associations 330

C. Qui a besoin de faits durs ? 336

1. Pourquoi pas des faits « souples » ? 337
2. Durcir les faits 340
3. La sixième règle de méthode : juste une question d'échelle 343

6. Les centres de calcul 349

Prologue. La domestication de la pensée sauvage .. 349

A. L'action à distance 355

1. Les cycles d'accumulation 355
2. La mobilisation des mondes 363
3. La construction de l'espace et du temps 371

B. Les centres de calcul 378

1. Lier fermement les alliés entre eux 379
2. La matière du formalisme 393

C. Métrologies 405

1. Étendre les réseaux encore un peu plus loin . 406
2. Liés par un petit nombre de chaînes métrologiques 411
3. Sur quelques autres paperassiers 418

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

APPENDICES

1. Règles de méthode 426
2. Principes 428

BIBLIOGRAPHIE 429

INDEX 441

BIBLIOTHEQUE DU CERIST