UN LIVRE DE REVIEL NETZ POUR UNE APPROCHE NON FORMALISTE DES FORMALISMES

Reviel Netz (2003), *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics : A Study in Cognitive History*. Cambridge: Cambridge University Press[1].

BRUNO LATOUR

POUR IAN HACKING

« Nous pouvons dire maintenant que l'apodeixis mathématique est, partiellement, un développement de l'epideixis rhétorique » (p. 293)

Ce livre est sans aucun doute le plus important ouvrage dans les études des sciences publié depuis le *Léviathan et la pompe à air* de Shapin et Schaffer. Je l'affirme même si son auteur, Reviel Netz, clacissiste de Stanford, préfère prendre ses distances par rapport à notre domaine (qu'il doit considérer comme trop peu recommandable). Il affirme d'emblée, avec un jeu de mots de son cru, que « ce livre ne devrait pas être lu comme "'*the Shapin of deduction*"' (mise en forme de la déduction) » (p. 3). Il préfère plutôt qualifier son travail d'« histoire cognitive », ce qui est exactement ce que nous nommons « études des sciences », c'est-à-dire l'analyse des conditions matérielles, historiques et pratiques nécessaires à la découverte de nouveaux outils cognitifs. Netz n'est pas un membre encarté de la socio-histoire des sciences mais il suffit de regarder un seul de ses impressionnants ouvrages (Netz, 2004), celui qui relate l'histoire du fil de fer barbelé depuis les ranchs des grandes plaines, en passant par Pearl Harbour, les

1 Texte publié dans Social Studies of Science, 38 (3), pp. 441-459, 2008, sous le titre « The Netz-Works of Greek Deductions – A Review of Reviel Netz's The Shaping of Deductions in Greek Mathematics ». Traduit de l'anglais par Dominique Vinck et Rigas Arvanitis, révisé par l'auteur. Reproduit avec la permission de SAGE.

tranchées de la Première Guerre mondiale jusqu'à Auschwitz, pour convaincre n'importe quel lecteur de *Social Studies of Science* qu'il fait partie des nôtres et qu'il est l'un des meilleurs. Que le domaine des études de la science soit beaucoup plus vaste (mais aussi, hélas, beaucoup plus *restreint* !) que la liste de ses membres officiels ne devrait pas nous surprendre. J'ai le vif souvenir de Thomas Kuhn qui semblait plus qu'embarrassé en recevant le prix Bernal de notre Société d'études sociales des sciences. Netz vient de publier un ouvrage d'une telle importance que, bien que je ne sois ni un spécialiste des études classiques ni un philosophe des mathématiques, je dois prendre le risque de l'embarrasser également en plaçant son livre au centre du corpus STS.

UNE DESCRIPTION NON FORMALISTE DU FORMALISME

Le livre de Netz fait exactement ce qu'il dit ne pas vouloir faire : il propose d'expliquer l'origine du formalisme comme Shapin et Schaffer (1993) ont proposé d'expliquer l'origine de la science expérimentale.

L'histoire qu'ils ont proposée se fondait, on s'en souvient, sur une révision du berceau de la science expérimentale, à savoir le laboratoire de Robert Boyle. Dans le *Léviathan*, le partage entre style scientifique et style littéraire, la distinction entre science et politique, l'autonomie du raisonnement scientifique et l'invention de nouvelles formes de persuasion sont traités comme les *objets* mêmes de la recherche historique et non comme de simples *ressources* au service de l'historien. Dans leur livre, Shapin et Schaffer font apparaître de nouveaux outils cognitifs et une nouvelle forme de vie : le laboratoire, le style expérimental. Aussi révolutionnaire qu'elle ait été, leur proposition restait incomplète car un autre outil essentiel, la déduction, aurait dû faire l'objet du même traitement. Or c'est exactement ce dont nous sommes à nouveau témoins dans le livre de Netz mais, cette fois, avec une discipline beaucoup plus ancienne, plus dure, moins documentée et bien plus influente : nous sommes ici au cœur même de ce qu'est déduire, démontrer et raisonner, comme on dit, « rigoureusement ».

> Dès lors, il n'est pas étonnant que les mathématiques grecques insistent sur la forme. Tout au long du livre, j'ai mis l'accent sur la forme plutôt que sur le contenu, en partie comme méthode pour atteindre la réalité cognitive derrière les textes, mais en partie aussi – et c'est la justification fondamentale de mon approche – parce que c'est là que nous devons regarder si nous voulons être sensibles au contexte historique des mathématiques grecques. En bref, les mathématiques grecques étaient une pratique culturelle où la forme dominait. (p. 311)

Au lieu de considérer « le miracle grec » comme une ressource permettant de raconter à nouveau la glorieuse histoire du raisonnement apodictique, c'est l'invention même de ce style de raisonnement qui est le sujet de l'enquête. À dire vrai, c'est très surprenant car les sources semblent manquer totalement. Raconter la révolution scientifique du dix-septième siècle comme si nous disposions des mêmes données que pour une étude contemporaine de laboratoire semble, malgré tout, moins difficile que de reconstituer la pratique de la déduction d'une petite centaine de mathématiciens de l'Antiquité, mal connus et à propos desquels nous ne possédons que des textes fragmentaires et altérés. Or, à lire cet ouvrage, nous avons le même sentiment d'accéder à la pratique que, par exemple, dans le livre d'Ed Hutchins (1995), *Cognition in the Wild,* sur un sujet proche : le calcul collectif à l'aide d'instruments. Et pourtant, Hutchins a bénéficié de vidéos, de magnétophones et d'archives de toutes sortes, en séjournant sur le site comme un ethnographe. Malgré cette différence de moyens, la similitude est forte : Netz transporte le lecteur dans « le laboratoire plat » des mathématiques grecques et devient le témoin de leurs inventions, pas à pas, comme peu d'ethnographies des mathématiciens au travail ont été capable de le faire (Rosental, 2003). Il n'y a peut-être pas eu de « miracle grec » à l'œuvre à cette époque mais nous voyons bien un « miracle Netz » ici et maintenant, et celui-là est exceptionnel.

Ce miracle se situe précisément dans l'étude d'une pratique du travail particulière : les inventions scripto-visuelles qui sont le sujet central du livre de Netz[2].

> Je voudrais montrer que les deux principaux outils de la mise en forme de la déduction étaient le diagramme, d'une part, et le langage mathématique, d'autre part. Les diagrammes – dans la façon spécifique dont ils sont utilisés par les mathématiques grecques – constituent la manière mathématique grecque d'enregistrer les ressources cognitives visuelles humaines. Le langage mathématique grec est une façon d'enregistrer les ressources linguistiques humaines. (...) Mais notez qu'il n'y a rien d'universel dans les formes précises de ces méthodes cognitives qui furent adoptées. Elles ne sont pas neuronales ; elles sont une construction historique. (...) On a besoin d'études en histoire cognitive et c'est ce que je propose ici. (p. 6-7)

Comme on le voit dans cette citation, le matérialisme de Netz ne doit pas être recherché, comme ce serait le cas dans une « construction sociale des mathématiques », dans le contexte économique de la Grèce classique mais dans les technologies intellectuelles[3] qu'étudient aujourd'hui les études des sciences. Comment dé-montrer ? C'est-à-dire comment montrer ? Comment pointer son

2 Ceci est un lieu commun pour le petit nombre d'analystes ayant eu l'audace de faire face à une description non formaliste du formalisme. Voir, par exemple, Bastide (1990) ; Rotman (1987, 1993).

3 Le paradigme est plus ou moins celui du livre majeur de Jack Goody (1977). Pour une présentation générale, voir Latour (1990).

doigt vers ce que l'on montre tout en parlant ? Comment le dessiner ? Comment le dé-crire, l'écrire donc avec des lettres ? Comment obtenir le consentement en l'absence de vos correspondants ? Comment partager avec eux votre conviction ? C'est en grande partie au niveau sémiotique, intelligemment ciblé par Netz, qu'une quantité impressionnante d'informations peut être fournie sur une pratique passée. « Mon projet est de partir, comme d'habitude, de la pratique » (p. 241). Ce qui prouve, à nouveau, que la notion de « pratique » est moins quelque chose qui s'observe *de visu* qu'une méthode pour observer des choses même très éloignées. C'est un genre qui permet d'exhumer autant de choses à partir de documents morts et de périodes très anciennes qu'à partir de sites qui peuvent être visités. Les informations que Netz réussit à extraire des papyrus et des parchemins sont aussi impressionnantes que celles que les paléonthologues peuvent tirer de silex dans une fouille archéologique – la chaîne d'actions que réalisent, minute par minute, geste par geste, des personnes dont ils ne savent rien.

Ce livre n'est peut être pas la première description non formaliste du formalisme, mais c'est certainement le premier exemple dans lequel une description non formaliste porte sur l'origine même de la déduction, de la géométrie et du raisonnement apodictique au cinquième siècle avant J.-C. Ce sont là les formes mêmes du raisonnement qui sont au cœur de l'imagination scientifique. Malgré leur qualité, les études des pratiques mathématiques des périodes postérieures ont toujours été fondées (comme leurs thèmes) sur un répertoire déjà riche de techniques et de genres littéraires dont on peut faire remonter l'origine aux anciens Grecs. Déduire, démontrer un résultat ou convaincre au moyen d'un graphique[4] était, pour ces travaux, une donnée d'évidence. Netz au contraire nous fait remonter le temps au moment où il n'y avait aucune géométrie, aucun raisonnement apodictique, aucune déduction et quand chacune de ces pratiques devait être conçue à partir de rien, sans compter sur aucun précédent. Si vous avez souffert sur les démonstrations géométriques à l'école (ce qui fut mon cas), il y a quelque chose de rafraîchissant à lire, page après page de ce livre lumineux et lucide, les difficultés qu'ont eu à affronter les géomètres grecs en inventant, les unes après les autres, les microtechniques nécessaires pour déplacer les diagrammes et le « transfert de nécessité » (terme crucial que j'expliquerai plus tard) pour conduire une démonstration du début à sa fin[5]. Encore une fois, faire basculer la notion même de forme et de formalisme du rôle de simple ressource à celui d'objet même de la recherche entraîne un effet libératoire − qui est la révélation propre aux « études de la science » ! En raison de mon manque de qualification en mathématiques grecques, le présent article ne peut rien être

4 Pour certains exemples récents, voir Dean (1995), Galison (1997), MacKenzie (2001), Warwick (2003), mais leurs mathématiciens connaissaient déjà tant de choses que leur historiens ne pouvaient plus présenter les composants élémentaires de ce dont il s'agissait au moment où personne ne savait encore ce qu'était penser mathématiquement.

5 « On doit faire l'effort de réaliser à quel point les termes mathématiques grecs étaient ordinaires. Nous traduisons *tome* par "section", *tmema* par "segment", *tomeus* par "secteur". Essayez de les imaginer comme "coupe", "coupure" et "coupoir". Les Grecs n'avaient ni les Grecs ni les Romains dont ils auraient pu emprunter les termes » (p. 124).

de plus qu'une incitation pour que la communauté des études de la science se tourne vers un livre qu'elle aurait pu rater. Je me limiterai donc à extraire trois arguments principaux à partir du chef-d'œuvre de Netz (sans suivre l'ordre des chapitres) qui me semblent particulièrement décisifs : a) l'usage détourné des mathématiques grecques par les philosophes ; b) l'autonomie du formalisme et, enfin, c) le cœur du livre, la technologie des diagrammes avec lettres et comment ils permettent le transfert de nécessité.

QUAND PLATON SE REND À HOLLYWOOD

Il est facile d'étudier les pratiques de laboratoire parce qu'elles sont lourdement équipées, éminemment collectives, manifestement matérielles, situées dans des temps et des espaces spécifiques, hésitantes et coûteuses. Mais ce n'est pas vrai des pratiques mathématiques : les notions comme « démonstration », « modélisation », « preuve », « calcul », « formalisme », « abstraction » résistent au fait d'être déplacées de leur rôle de ressources indiscutables à celui d'objets d'étude se pliant à l'examen et à l'analyse. Tout se passe comme si nous n'avions aucun outil pour maintenir ces notions sous notre regard au-delà d'un instant fugace, ni aucun métalangage pour les examiner. Elles semblent nous contaminer inévitablement comme si l'abstraction nous rendait aussi abstraits ! Un moment d'inattention suffit : elles se sont évaporées, elles sont passées par ici, elles repassent par là mais en tout cas ne restent pas sous nos yeux. Les abstractions, au lieu d'être *ce qui devrait* être décrit par un nouveau langage descriptif, qui resterait à inventer, glissent pour devenir le métalangage de nos descriptions. Ainsi le compte rendu matérialiste de l'acte d'abstraire devient le plus souvent un simple compte rendu abstrait de l'abstraction[6]. Ainsi, beaucoup d'analystes des sciences, pourtant dignes de confiance, sont devenus des épistémologues et ont fini par empiler formalismes sur formalismes... Ceci explique pourquoi le domaine des études des sciences est si fortement biaisé en faveur des sciences expérimentales : pour deux douzaines d'études d'expériences et de machineries, nous en trouvons seulement une portant sur des équations, des modélisations, du formalisme ou de la logique.

La grande décision libératrice du livre de Netz est que cet état des choses n'est pas dû à la nature intrinsèquement « abstraite » de la déduction mais plutôt à une étrange opération de canalisation (pour ne pas parler de capture) par les philosophes platoniciens d'un ensemble de savoir-faire développés, au sein de petits réseaux de praticiens cosmopolites de la géométrie grecque... Une citation, assez longue mais amusante, suffira pour montrer où conduit son argument :

6 C'est probablement ce qui a fait tomber Eric Livingston (1985) dans un piège que Netz a merveilleusement évité : il y a plus d'un chemin pour obtenir l'« adéquation unique » demandée par Garfinkel.

> Pour être plus précis : nous connaissons tous le destin d'un livre qui devient soudainement un best-seller après avoir été transformé en film – dans sa version « selon le film ». Ce processus provient de l'Italie du Sud vers la fin du cinquième siècle avant J.-C. mais c'est Platon qui a converti « Mathématiques : le film » en une vision convaincante. Cette vision a hanté la culture occidentale, renvoyant encore et encore au « Livre selon le film » – la numérologie liée au pythagorisme et au néoplatonisme. Peu de gens, notamment dans la tradition aristotélicienne, sont retournés à l'original, jusqu'à ce que, après la dernière redécouverte platonicienne de la Renaissance, les mathématiques éclatent au seizième siècle et laissent le platonisme derrière elles avec le reste de la philosophie et des sciences humaines. Nous prenons maintenant la centralité des mathématiques pour une évidence ; mais il ne faudrait pas la projeter dans le passé. (p. 290)

À la grande surprise de ceux qui croient au « miracle grec », le trait le plus saisissant des mathématiques grecques, selon Netz, est qu'à l'époque elles étaient complètement périphériques à la culture, même chez les plus lettrés. La médecine, le droit, la rhétorique, les sciences politiques, l'éthique, l'histoire, oui ; les mathématiques, non. « Il y a quelque chose de très radical à propos de l'isolationnisme des mathématiques grecques comparé au contexte général » (p. 309). À une exception près : la tradition plato-aristotélicienne. Mais qu'est-ce que cette tradition (elle-même marginale à l'époque) a pris aux mathématiciens ? Aucun diagramme avec lettres (*horresco referens*), un peu de vocabulaire, presque aucune des technologies intellectuelles ; elle n'a pris rien qu'un seul trait mais crucial : l'idée selon laquelle il pourrait exister une voie pour convaincre, une voie qui serait apodictique et ne serait ni rhétorique ni sophistique. La philosophie tirée des mathématiciens n'était pas une pratique véritable. Elle était juste une façon de se différencier radicalement en trouvant la bonne manière de persuader.

Les termes apodeixis et epideixis ont presque la même racine étymologique et, pendant plusieurs siècles, n'étaient pas complètement distincts (Cassin, 1995). Ce sont les philosophes platoniciens qui ont façonné leurs discours sur celui qui produit des effets de persuasion comme résultat des démonstrations géométriques et qui ont introduit dans la philosophie une différenciation radicale entre deux façons d'être convaincu : l'une, par des démonstrations rigoureuses, apodeixis, et l'autre, par une prolifération de rhétorique, de sophistique, de poésie, d'imagination et de manœuvres politiques, epideixis. Etait-ce là l'effet des pratiques philosophiques ? Mon dieu, non ! Le scandale principal, pour les philosophes de l'Antiquité comme pour ceux de notre époque, c'est qu'il n'y a pas moyen de faire s'entendre deux philosophes entre eux. La philosophie platonicienne était-elle une vraie émulation des pratiques des géomètres ? Produit-elle de la conviction au moyen de l'examen collectif des diagrammes avec lettres, en s'en tenant aux seules conclusions auxquelles les formes, et seulement elles, pourraient amener[7] ? Naturellement pas,

7 C'est l'évaluation que fait Netz de la relation de Platon à la technique : « Les travaux de Platon

puisqu'il n'y a aucun diagramme dans la philosophie. La philosophie ne s'est pas prudemment limitée aux seules formes, comme le faisaient les géomètres (voir ci-dessous). Au contraire, elle a prétendu parler aussi du contenu : la Bonne Vie, la recherche correcte de la vérité, les lois de la Cité, etc. Comme si Platon n'avait retiré de la géométrie que la façon de convaincre et lui avait ajouté un contenu sans relation aucune ; comme si le type de persuasion auquel sont arrivés à grand-peine les mathématiciens (parce qu'ils se sont justement limités aux formes) pouvait être atteint, quasiment sans coût de démonstration, par des philosophes pour l'appliquer aux seuls contenus qu'ils considèrent appropriés ! Une imitation des mathématiques, juste pour chasser les sophistes hors de la philosophie. C'est une prouesse, en effet, qui reste le ressort secret de tant de guerres des sciences, passées et présentes. Le « livre tiré du film », pour utiliser les termes de Netz, celui qui a été lu et enseigné pendant vingt-six siècles, déclare : « il y a une différence radicale entre la conviction et la persuasion ». Il affirme, en outre, que cette différence est ce qui définit la philosophie, l'épistémologie, la science et même la Raison avec un R majuscule. Quand nous admirons la remontrance de Socrate au sophiste Calliclès, « *geômetrias gar ameleis* »[8], nous continuons à citer le livre tiré du film à succès. De temps à autre, nous allons voir le film mais personne, excepté Netz, ne lit le minuscule script ésotérique à partir duquel le film de Hollywood et le best-seller postérieur ont été produits.. Après nous être débarrassés, grâce à Shapin et Schaffer, du best-seller « la Révolution Scientifique », nous pouvons maintenant nous défaire du best-seller « le Miracle Grec ». Retour aux sources. L'histoire de la Raison s'avère être plus lumineuse que ne l'ont laissé entendre les Lumières…

L'INVENTION D'UNE NOUVELLE AUTONOMIE

Nous ne devons toutefois pas être trop durs avec les philosophes : après tout, même les mauvais *péplums* peuvent déclencher des vocations de spécialistes du monde antique ! Durant des siècles, avant que la physique ne prenne les commandes, la philosophie a compris que le succès des mathématiciens grecs pouvait lui être utile. S'en tenir aux formes fournissait une nouvelle source de certitudes mais pour cela encore fallait-il que les sujets de la philosophie soient traités comme le faisaient les mathématiciens. C'est seulement quand on put enfin ajou-

suggèrent que les mathématiciens avaient une certaine terminologie – Platon le montre en remplissant ses passages mathématiques par ce qui ressemble à un jargon. Ce jargon est souvent différent de celui d'Euclide mais il n'y a pas de raison de penser que Platon essaye d'utiliser le *bon* jargon. Sinon, Platon est étrangement réticent quant à certains aspects de la pratique mathématique comme, par exemple, l'utilisation des lettres dans les diagrammes. En général, son usage des mathématiques est très distant de la pratique mathématique et ne nous permet pas de voir clairement quelle était la forme des mathématiques qu'il connaissait. » (p. 276)

8 « … tu négliges la puissance de l'égalité géométrique parmi les dieux et les humains. Tu prônes l'avantage disproportionné pour soi car tu négliges la géométrie » (Gorgias 508 a). Voir le commentaire de ce fameux dialogue dans Latour (2001).

ter des « objets galiléens » aux démonstrations d'Archimède, que les contenus allaient pouvoir s'ajuster aux nouvelles formes de démonstration et que le laboratoire de physique allait voir le jour. D'une certaine manière, la philosophie (de type platonicien tout au moins) a servi de préfiguration pour que puisse avoir lieu ce développement. Mais, répétons-le, ce n'était pas là le projet des mathématiciens grecs. Au contraire, ils ont beaucoup peiné pour rendre impossible cette capture par les philosophes. Comme le montre Netz à maintes reprises, les géomètres avaient établi une stricte séparation entre les mathématiques de premier ordre (travail effectué sur les formes) et les mathématiques de second ordre (la recherche de contenu entièrement laissée à des mains extérieures).

> La chose importante n'est pas la façon dont le lexique de second ordre diffère mais le fait qu'il soit différent. Les deux sont séparés. En effet, ils sont isolés l'un de l'autre, littéralement. Les intermèdes de second ordre entre des démonstrations, sans parler de ceux qui auraient lieu pendant les démonstrations, sont remarquablement rares. Les deux sont opposés. Et c'est naturellement le discours de premier ordre qui en est marqué, puisque le discours de second ordre est simplement la continuation de la prose grecque normale. (p. 120)

Ici encore, le parallèle avec la méthode de Shapin et Schaffer est frappant : l'autonomie n'est pas le point de départ où commencerait l'explication de l'apparition miraculeuse de la déduction comme Athéna sortant de la cuisse de son père. Ce qui doit être expliqué apparaît avec l'intrusion d'un ensemble de techniques nouvelles et fortement spécialisées. De la même façon que Boyle a inventé le style particulier du témoignage virtuel qui a permis une autonomisation relative de la prose scientifique par rapport au reste de la littérature, Netz montre que les mathématiciens grecs ont délibérément inventé un style qui leur a permis de se différencier des autres pratiques intellectuelles – en particulier de la philosophie. Ne *pas* faire de réflexions de second ordre dans les démonstrations est un aspect central de ce style, lui permettant de « s'isoler » du reste de littérature :

> Le diagramme avec lettres ouvre un univers de discours. Quand ils parlent de leurs diagrammes, les mathématiciens grecs n'ont pas besoin de parler de leurs principes ontologiques. C'est là une caractéristique des mathématiques grecques. Les démonstrations étaient faites au niveau de l'objet, les autres questions étaient mises de côté. On allait directement aux diagrammes, on faisait le boulot et si on vous demandait quelle était l'ontologie sous-jacente, on marmonnait quelque chose à propos du temps qu'il fait avant de se remettre au travail. (...) Il y a une certaine sincérité au sujet des mathématiques grecques, un choix délibéré de faire des mathématiques et rien d'autre. Le fait que cela ait été possible s'explique partiellement par le rôle du diagramme qui a agi, en fait, comme un produit se substituant à l'ontologie. (p. 57)

De là vient l'importance du livre de Netz : il nous permet enfin d'étudier l'abstraction au moyen de méthodes ethnographiques. Trop souvent, nous sommes paralysés par l'ontologie de la déduction (le best-seller tiré du film) et nous pouvons rarement nous concentrer sur l'« univers de discours » qui est produit, dans ce cas-ci, par les techniques scripto-visuelles. Pour comprendre la formation de la déduction, nous devons encore renverser cette substitution, nous devons remplacer l'ontologie par la pratique. Et c'est seulement alors qu'apparaissent certains traits marquants : la référence constante aux diagrammes dans le texte et en particulier aux lettres qu'ils contiennent[9], le vocabulaire limité (« le corpus d'Archimède se compose de seulement 851 mots », p. 107), l'utilisation de formules narratives codifiées, constamment répétées.

Voici comment Netz résume sa démonstration en se basant sur son corpus :

> Cent à deux cent mots sont utilisés de façon répétée et sont responsables d'au moins 95 % du corpus (le plus souvent, il s'agit de l'article, des prépositions et des pseudo-mots que sont les « lettres »).
>
> Un nombre équivalent de formules – ensemble structuré de mots – qui composent une proportion encore plus grande du texte (le plus souvent, des objets-formules composés de lettres). Ces formules sont très souvent répétées.
>
> Les mots et formules sont un système économe (qui tend à se rapprocher du principe d'un élément lexical par concept, en particulier en ce qui concerne les mots mais aussi les formules).
>
> Les formules sont flexibles, sans perdre pour autant leur claire identité. La flexibilité prend habituellement la forme d'ellipses graduelles qui rendent « anormale » la sémantique du texte.
>
> De plus, environ la moitié du texte se compose de formules fortement marquées du point de vue sémantique. Elles servent à marquer le texte dans son ensemble.
>
> La flexibilité prend parfois la forme de transformations d'une formule en une autre. Plus généralement, les formules sont structurellement associées (soit verticalement – une formule devient un constituant d'une autre – soit horizontalement – deux formules sont apparentées).
>
> Ainsi, une toile de formules est projetée sur le corpus. (p. 161).

9 Ceci est une distinction sémiotique essentielle : « Les lettres dans les diagrammes sont des panneaux indicateurs. Elles ne tiennent pas lieu d'objets, elles tiennent par elles-mêmes. » (p. 47)

Ce n'est clairement pas ce que les épistémologues nommeraient le cœur central de la déduction. Pourtant, c'est ce qui saute aux yeux de la pratique de la déduction, une fois l'idéologie de la rigueur mise de côté. Pour être plus précis, au lieu de « la déduction rigoureuse », nous découvrons, un à un, les divers ingrédients dont la « rigueur » est faite. La dé-duction devient une activité aussi difficile que la marche sur un terrain miné où il ne faut pas s'écarter du minuscule sentier. Les « troubles de la déduction » sont aussi fascinants que les « troubles de l'expérience » étudiés par Shapin et Schaffer. S'il y a une chose qu'on ne peut pas faire quand on lit une démonstration, c'est de regarder autour pour admirer le paysage et de prétendre trouver une nouvelle voie de vérité ! Un pas de côté et on est perdu...

> Aussi je suggère qu'une part de la réponse à « pourquoi les démonstrations mathématiques grecques sont exprimées comme elles le sont ? », est que les démonstrations sont séparées des discussions générales, de sorte que leur structure est complètement autonome. Quand on fait des mathématiques, on ne fait rien d'autre. À la place de la structuration multidimensionnelle d'intérêts et d'implications du discours normal, les mathématiques grecques abstraient des relations mathématiques. C'est peut-être évident pour une science, mais les mathématiques grecques n'étaient précédées d'aucune science qu'elles auraient pu imiter. (p. 214)

Oui, la science est autonome mais elle doit se construire. Et cette construction a un coût élevé. C'est exactement ce coût que la philosophie de Platon a essayé d'éviter en utilisant la déduction (ou une imitation de la déduction) pour traiter tous les grands problèmes de son temps. Ce qui fascine Netz, c'est le faible nombre de mathématiciens à l'époque : il va même jusqu'à faire leur prosopographie (au total, trois mathématiciens sont nés par an en moyenne dans le bassin méditerranéen – p. 285 !). Leur pénurie est si grande que même Archimède ne parvient pas à avoir assez de collègues...[10]

> C'était une entreprise poursuivie par des réseaux ad hoc d'amateurs autodidactes – réseaux pour lesquels la forme écrite était essentielle ; émergeant et disparaissant constamment, obtenant difficilement une assise institutionnelle. La machine n'avance pas de manière uniforme et sans à-coup : elle tressaute et avance par saccades, démarrant et redémarrant constamment. Notre espoir de trouver une « discipline scientifique » doit s'éteindre. La notion de « jeu intellectuel » serait une meilleure approximation. (p. 291-292)

Décidemment, « la centralité des mathématiques ne doit pas être projetée rétrospectivement ». Mais finalement insister autant sur la construction de l'autonomie pose un problème : s'il était si difficile de maîtriser ce nouveau style déductif, tellement ésotérique, si ce jeu n'avait qu'aussi peu de joueurs qui se

10 « Archimède, dans la Méthode et ailleurs, donne une idée de l'énergie intellectuelle sans borne, pleurant après des collaborations ; le monde ne collaborait pas. » (p. 286)

retiraient des affaires publiques, qui s'abstenaient de tout commentaire général, de toute affirmation de second ordre, de toute application pratique (par la crainte d'apparaître trop ordinaires), qu'est-ce qui a bien pu fasciner à ce point les philosophes platoniciens ? Comment ont-ils vu dans ce « jeu » une invention cruciale qui pouvait les aider à chasser les sophistes de la ville ? Il pourrait n'y avoir aucun miracle grec, mais il y a bien un mystère : comment se fait-il que le plus improbable candidat à un usage public – cette forme de la déduction – ait été justement utilisé, sous le nom de Voie de la Raison et, de plus, pour un usage tout à fait contraire à celui envisagé lors de sa conception ? On pourrait ajouter que le mystère est encore plus grand car ce stratagème s'est transmis jusqu'à nos jours. Aucun fonctionnaire public, aujourd'hui encore, n'oserait oublier ce que Calliclès avait oublié : les mathématiques tiennent la clé du Bien Public et de la Bonne Vie. Ce best-seller est toujours en vente dans n'importe quel kiosque à journaux.

Comme toutes les bonnes enquêtes d'études des sciences, Netz ne prend pas le contexte comme explication des sciences mais, au contraire, montre comment chaque science particulière élabore sa propre façon, très spécifique, de se mettre en relation à un contexte. Mais je dois admettre que sa réponse est moins originale sur ce point que le reste du livre. Il confirme l'argument bien connu de Geoffrey Lloyd (1990 ; 2005) : c'est justement *parce que* la vie publique en Grèce était si envahissante, si polémique et avec si peu de résultats concluants, que l'invention, par « ces réseaux spécialisés d'autodidactes », d'une *autre façon* de clore une discussion a été aussi alléchante. « Ces gens, qui vivent dans l'obscurité totale, semblent être arrivés à une façon totalement nouvelle de conclure un argument ! Quel soulagement ! Pouvons-nous aussi l'utiliser ? » Nulle part ailleurs qu'en Grèce cette nouvelle ressource n'aurait été bienvenue.

> (...) le développement d'arguments rigoureux dans la philosophie et dans les mathématiques doit être replacé dans le contexte de la rhétorique avec ses propres définitions de la démonstration. C'est cette évidente incapacité de la rhétorique qui a ouvert la voie à une proposition d'incontrovertibilité, une façon d'offrir la preuve au-delà de la simple forme de la persuasion. (p. 309)
>
> (…) dans la culture polémique grecque, ce dispositif des mathématiques a pris une signification qu'il n'a pas eue en Chine ou en Mésopotamie[11]. Pour les Grecs, les mathématiques étaient radicalement différentes à cet égard des autres disciplines et, du coup, les mathématiciens ont poursuivi leurs études avec un certain degré d'isolationnisme. (p. 310)

Tous les grands livres d'études des sciences relèvent de « l'épistémologie politique », c'est-à-dire qu'ils n'étendent pas la politique à la science, ni la science à la politique. Au lieu de cela, ils essayent de comprendre d'où vient la différence et comment s'est faite la répartition des compétences entre ces deux

11 Voir le contre-exemple sur la Chine dans Chemla *et al.,* 1999.

domaines. Le livre de Netz parvient à le faire pour la plus persistante différence, la différence entre être convaincu et être persuadé, entre démonstration et rhétorique, entre *apo-* et *epi-deixis*. D'où cette phrase des plus audacieuses : « nous pouvons maintenant dire que l'*apodeixis* mathématique est, en partie, un développement de l'*epideixis* rhétorique » (p. 293). Il ne dit pas qu'elles sont différentes depuis l'origine ; il montre où et pourquoi elles ont *commencé* à diverger. Même cette distinction, la plus profondément enracinée, peut être expliquée ; on peut en retracer l'origine matérielle. Avec cette découverte, les études des sciences devraient pouvoir avancer.»

Mais à une condition. La condition la plus radicale et la plus originale de ce livre radical et original est que la *deixis* au sens littéral du terme, c'est-à-dire ce qui est indiqué par l'index (le doigt), doit lui-même être désigné... C'est ce que nous devons maintenant comprendre.

> Revenons maintenant au mathématicien grec : nous le voyons se parler à lui-même – de façon silencieuse, à haute voix ou même en écrivant – avec des phrases grecques. Le plus probable est qu'il n'écrit pas beaucoup – après tout, il n'y a rien de particulièrement écrit dans son utilisation du langage. Dans les quatre chapitres précédents nous avons recherché le mathématicien grec. Nous l'avons finalement trouvé : il pense à haute voix, au moyen de quelques formules composées d'un petit ensemble de mots, regardant fixement un diagramme, le notant avec des lettres. C'est la réalité matérielle des mathématiques grecques. Nous nous déplaçons maintenant pour voir comment la déduction est formée à partir d'un tel matériau. (p. 167)

COMMENT TRANSFÉRER LA NÉCESSITÉ PAR TRANSFORMATION

Que voyons-nous vraiment une fois confrontés à un phénomène scientifique ? Nous sommes conduits à des scènes d'interlocution comme celles-ci : « Regarde, là », indique un opérateur en pointant la fenêtre d'un instrument quelconque avec son index. – « Je ne vois rien », répond un collègue. – « Mais si, c'est sûr, ici, regarde ce pic ! ». – « Ah, oui c'est ce que tu veux dire, génial, maintenant je le vois. »

Beaucoup d'études des sciences ont été en mesure de capter l'émergence de cette visibilité, cette déictique et son importance cruciale dans la simplification de la perception ; elles sont accompagnées de l'analyse minutieuse des échanges intersubjectifs (Garfinkel et al., 1981 ; Goodwin, 1995 ; Knorr et Amann, 1990 ; Lynch, 1985). La forme expérimentale de vie crée constamment ces échanges à l'interface entre ce qu'inscrivent les instruments, ce que le groupe local de collègues parvient à tirer de ces inscriptions, ce qui est finalement défini comme phénomène stable après avoir été collectivement attesté et progressivement durci en fait véritable ou bien rapidement éliminé en tant qu'artéfact. La force de conviction que permettent les sites d'expérimentation vient en grande partie de ce qu'ils permettent cette déictique, étapes par étapes, en permettant de surveiller en permanence des mondes locaux scripto-visuels immédiatement déchiffrables et collectivement observables[12]. C'est globalement ce que signifie maintenant l'adjectif « scientifique ».

Mais avant Netz, ce qui est vrai de l'observation et de l'expérimentation n'était pas supposé vrai de la déduction. L'argument consistait à dire qu'il n'y avait pas de déictique dans la démonstration et qu'il ne *devait* pas y en avoir[13]. Seule la pensée elle-même doit prendre les commandes et conduire notre esprit par des étapes logiques sans l'aide de cordes, de diagrammes ou d'autres inscriptions – sauf à l'école, à des fins purement pédagogiques (Lakatos, 1984). C'est pourquoi les mathématiques, l'argument est toujours là, sont supposées si différentes du reste des sciences. Elles ne se fondent pas sur l'inspection pas à pas d'une réalité matérielle précédemment transformée pour en tirer, à partir de ses instruments, de nouvelles intuitions sur le monde empirique. C'est pourquoi seul un compte rendu formel du formalisme est supposé possible : aucune attention aux techniques intellectuelles n'expliquerait jamais comment un esprit parvient soudainement à éviter de faire toute référence et à quitter la réalité quotidienne pour accéder à une réalité supérieure – qu'aucune manifestation empirique ne pourrait jamais exprimer. Comme chaque petit français l'a appris de Poincaré : « la géométrie est l'art de raisonner juste sur une figure fausse ». Peu importe le caractère douteux de la figure, le raisonnement en découle correctement et sans effort parce qu'il est dans une autre dimension.

Ceci est peut-être vrai, aujourd'hui, pour des mathématiciens bien formés. Après des années de pratique, ils peuvent ne plus voir ce qui leur est nécessaire pour penser, pas plus qu'une acrobate ne se souvient de ce qu'il lui a fallu faire pour attraper un trapèze en plein vol à quinze mètres au-dessus du sol. Mais ce n'était certainement pas le cas en Grèce. Netz nous rappelle que chaque aspect élémentaire de ce nouveau « jeu intellectuel » a dû être inventé morceau par morceau. À l'époque, les diagrammes étaient essentiels pour construire pas à pas des certitudes examinées collectivement. Quand Netz écrit son livre, il déduit l'indispensable présence des diagrammes de la sémiotique des textes (qui n'avaient aucun sens à moins qu'une figure aujourd'hui absente n'ait été montrée par le doigt du mathématicien à ce moment précis de l'argumentation). C'est alors qu'il a eu la chance de voir

12 Cette collaboration entre l'écrit et le visuel est une caractéristique des diagrammes même dans leur usage le plus récent (Bastide, 1990 ; Kaiser, 2005 ; Lynch, 1991), sauf quand ils ne portent sur rien (Lynch, 1990) !

13 Peter Galison (2002) a raconté l'histoire de la forme spécifique d'iconoclasme propre à la tradition formaliste.

son analyse confirmée par la découverte postérieure de diagrammes réels dans une copie très ancienne d'un manuscrit d'Archimède qui comportait indiscutablement les diagrammes dont il avait présupposé l'existence (Netz, 2006).

> Pourquoi le diagramme est-il fiable ? D'abord, parce que les références à ce diagramme sont des références à une construction, qui, par définition, est sous notre contrôle. On aurait rencontré un diagramme anonyme, il aurait été impossible de raisonner à son sujet. Le diagramme qu'on construit soi-même, cependant, est également connu de soi-même parce qu'il est verbalisé. Notez la combinaison : la présence visuelle permet une vue synoptique, un accès facile au contenu ; la verbalisation limite le contenu. Il est trop difficile de suivre seulement le texte[14] ; le diagramme isolé est sauvage et imprévisible. L'unité composée des deux est le sujet des mathématiques grecques. (p. 181)

Et voilà que l'on se défait ici d'une autre division radicale, celle, cette fois, entre l'expérimentation et la déduction, le monde empirique de la physique et le monde « purement logique » des mathématiques. Pour les mathématiciens grecs, tout au moins, ce n'était pas un monde idéal, mais, en fait, une expérience, fortement spécifique et totalement surprenante. Que se passe-t-il quand cette combinaison unique d'un vocabulaire limité et d'une syntaxe de formules est systématiquement appliquée aux figures, et seulement aux figures, non à cause de la qualité des dessins, mais en raison de leurs relations ? Ou plutôt l'inverse (voyez comme c'est facile de glisser !) : ce que nous appelons des rapports, et donc aussi des relations logiques, sont précisément la découverte faite par les mathématiciens grecs qu'il est possible d'extraire *ce genre* de phénomène du monde empirique, à l'exclusion de toutes les autres caractéristiques. Ce que nous prenons aujourd'hui pour acquis comme « rapport logique » est justement ce qui fut obtenu par les géomètres grecs. Autrement dit : l'idée même de rapport logique aussi a une histoire.

> La déduction, en fait, c'est plus que déduire. Pour faire une déduction, on doit être à même de noter des faits pertinents et, de même, combiner des faits connus. L'œil pour l'évidente vérité n'est pas moins important que l'œil pour le résultat évident et, comme le montre l'entrelacement des points de départ et des affirmations discutées, les deux yeux agissent ensemble. (p. 171)

14 Rappelez-vous que les Grecs ne séparent pas les lettres et avaient le système de notation le plus encombrant pour les calculs. De ce fait, les diagrammes sont comme des oasis de clarté. Ceci tient également à une raison technique, liée aux rouleaux : les rouleaux se trouvent être beaucoup plus faciles à lire pour des démonstrations que de gros volumes puisque les diagrammes étant à la fin, on pouvait facilement plier ou déplier les rouleaux pour toujours suivre de façon synoptique le lien entre les textes et les visuels – chose qui est très difficile à faire avec des livres. Rappelez-vous aussi qu'avant l'imprimerie, personne n'avait accès à des textes mathématiques contenant des diagrammes (Eisenstein, 1979).

Les mathématiques sont empiriques de part en part. S'il était curieux que Boyle décrive ce qui est arrivé aux oiseaux et aux bougies à l'intérieur du piège artificiel de la pompe à air, combien plus bizarre encore ont dû être les expériences mathématiques pour ceux qui les pratiquèrent la première fois. Rappelons-nous qu'il s'agit là d'expériences dans lesquelles des diagrammes mal tracés (mais soigneusement marqués de lettres) ont été soumis à l'inspection afin d'en tirer un seul type de connexion, des relations transitives entre différentes parties des diagrammes à différents moments de la démonstration écrite. Si vous pensez que c'était étrange que les microbes de Pasteur, une fois cultivés dans un récipient, deviennent visibles et descriptibles, alors vous devriez trouver tout aussi étrange le fait que des « relations logiques » émergent de ces boîtes de Pétri que sont les « laboratoires plats » des géomètres grecs[15].

En fait, Netz est un peu plus prudent que moi au sujet de l'impact ontologique d'une telle découverte (rappelez-vous qu'il est un helléniste sérieux, pas un fébrile sociologue des sciences (Latour, 2007) :

> Nous sommes des historiens – nous n'avons pas à répondre à de telles questions. Tout ce que nous devons noter est qu'il y a ici une décision, celle de se concentrer sur des relations pour autant qu'elles soient transitives. La question de savoir si elles existent indépendamment de cette décision est une question laissée au philosophe ; l'historien ne fait qu'enregistrer la décision[16]. À une certaine époque, des Grecs – poussés par l'appel à l'incontrovertibilité, décrite par Lloyd (1990) – ont décidé de se concentrer sur des relations pourvu qu'elles soient transitives et d'exiger qu'au cours des discussions des rapports des aires et d'autres objets similaires, de faire croire à la transitivité idéale. Voici finalement le faire croire, l'abstraction vraiment exigée par les mathématiques grecques. Que la sphère soit faite de bronze ou pas est sans importance. La condition importante – c'est là où les mathématiques se détachent du monde réel – est que si la sphère a un volume égal à un autre objet quelconque, disons 2/3 du cylindre circonscrit et si ce cylindre est à son tour égal à un autre objet X, alors la sphère sera égale à X. Cette « égalité » est vraie uniquement dans un sens idéal, un sens différent de celui des applications de la vie réelle et des mesures. Tenir à cette opération *en tant* qu'opération, c'est le faire croire au cœur des mathématiques grecques. (p. 197-198)

15 Il convient de rappeler que l'obtention d'une constante après une série de transformations n'est possible que dans le petit monde artificiel de la démonstration, lui-même incroyablement rétréci : « Pour résumer notre première description : le lexique mathématique grec est petit, fortement orienté vers des objets particuliers (dont les propriétés et les relations sont données seulement de manière schématique) et invariant dans les travaux et parmi les auteurs. » (p. 108)

16 Pourtant, la teneur d'ensemble du livre de Netz met clairement en veilleuse, comme tant d'études des sciences, l'opposition traditionnelle entre constructivistes et idéalistes : les objets mathématiques sont réels *parce qu'ils* sont construits. Le monde répond à cette pratique avec fécondité en raison de l'artificialité du laboratoire plat. C'est, d'après moi, la solution de Netz à l'énigme kantienne du « jugement synthétique a priori ».

Nous devrions faire attention à ce stade. Une seconde d'inattention et nous risquons de perdre l'argument : l'« idéal » ne devrait pas être traité « idéalement » mais « matériellement ». En fait, « faire croire » est un terme malheureux, peut-être un retour à un langage (dé)constructiviste assez lâche. Mais le dispositif principal de la description de Netz est indiscutable. La technologie intellectuelle d'adhésion aux formes de cette manière très spécifique permet « au monde idéal » d'émerger − ou plutôt au monde empirique d'être transformé, transporté, transfiguré (mais en prenant « figure » au sens littéral) en un monde « idéal ». De quoi cet « idéal » est-il fait ? Comme Poincaré le dit, de la distance, oh, si faible entre « raisonner correctement » et « une figure mal dessinée ».

Nous pouvons dire que l'idéal a finalement atterri sans risque ! C'est un exploit. Pratiquement tous les autres commentateurs prennent le monde idéal des relations logiques comme un autre monde, un monde qui a simplement été « découvert » par les Grecs mais qui a toujours existé en soi sans effort particulier[17]. Mais l'idée même d'un monde idéal du formalisme est aussi peu réaliste que si vous continuez d'imaginer que tous les avions qui croisent votre ciel bleu d'été n'atterrissent ni ne décollent jamais et ne sont jamais desservis par des compagnies aériennes au sol. Dans ce livre, nous avons la chance d'assister à la première pose du macadam de la piste d'où décolle le plan idéal (je devrais dire le biplan idéal !) et nous entendons le rugissement des moteurs qui lui permettent de voler ! Telle est l'importance de ce livre étonnant.

Mais quel est exactement le phénomène qui rend les mathématiciens grecs si enthousiastes et si rapidement productifs, au moins à leurs débuts ? Pouvons-nous nommer avec plus de précision la matérialité de ce plan idéal ?

> Mon argument est simple. Certains énoncés et arguments sont vus comme immédiatement nécessaires − ils sont les éléments de construction, les « atomes » de la nécessité. Ils se combinent dans des modes qui permettent de préserver cette nécessité et produisent la nécessité des mathématiques grecques. (p. 168)

Les mathématiciens grecs ont inventé une voie d'accès complètement nouvelle : la conservation de la nécessité à travers des transformations successives. Ils se sont soudain rendu compte qu'en n'extrayant que les relations que le texte permet de décrire, on pouvait transférer cette nécessité du début d'une démonstration jusqu'à sa conclusion. À condition d'indiquer chaque transformation sur les diagrammes en les pointant du doigt et sans jamais abandonner ce procédé, à chaque transformation, en évitant bien de se tourner vers un quelconque « contenu » ou à chercher à savoir « ce que cela signifie vraiment ». Assurément, tous lecteurs, même ceux qui ont reçu le plus mauvais enseignement, ont dû ressentir la même stupéfaction en faisant de la géométrie à l'école :

17 Michel Serres (1989) est souvent revenu sur sa propre généalogie de la mathématique grecque, généalogie qui n'est pas sans rapport avec celle de Netz.

– Vous voyez que cette relation est correcte. – Oui, d'accord. – Bien, c'est pareil tout du long, d'accord ? Maintenant celle-ci est égale à celle-là et celle-là de nouveau à cette autre, d'accord ? – D'accord. – Et là, quelle surprise ! Cela est aussi vrai de ceci. Tout a changé mais rien n'a changé. Si les mauvais élèves du vingtième siècle peuvent être surpris par cet exploit de salva veritate, imaginons ce qu'a dû être la découverte de cette stupéfiante manière d'ouvrir cette voie entièrement nouvelle au milieu de l'agora au cinquième siècle avant Jésus-Christ. Assez, en effet, pour avoir étourdi le petit esclave du *Ménon*.

Mais en quoi est-ce si extraordinaire ? Pourquoi est-ce que se concentrer sur un seul type de relation permet de décoller de la réalité ? C'est en raison des enchaînements. C'est l'invention d'une « chaîne qui ne se rompt jamais ».

> La majorité des *énoncés* [dans Euclide] est faite d'équivalences. J'ai déjà noté dans le chapitre précédent l'énorme répétition de la relation d'« égalité » dans les mathématiques grecques. Nous voyons maintenant la signification logique de cette répétition. (...)

Nous pouvons dire que les mathématiques grecques sont finalement déductives parce qu'elles traitent de relations transitives. Cette réponse est partiellement valide. Le monde empirique est récalcitrant ; il ne conduit pas à la logique et ceci parce qu'il agit par degrés, par fines nuances, par dimensions multiples. Chaque étape se fond dans la suivante, les chaînes de relations du monde réel se rompent après un certain nombre d'étapes ; la quantité de liquide transféré successivement de récipient en récipient se réduit ; la préférence de A pour B et de B pour C n'impose pas toujours celle de A pour C. Les objets mathématiques sont différents. (p. 197)[18]

Voici l'« idéal » : le verre d'eau que l'on peut verser éternellement dans un autre verre sans qu'aucune goutte ne s'échappe ni ne s'évapore sous un soleil brûlant. Dans le « monde réel », toutes les transformations altèrent ce qui est transporté. Dans le « monde idéal », celui qu'inventent ou découvrent les mathématiciens, on peut effectuer autant de transformations que l'on veut sans aucune déperdition (Netz compte réellement les étapes d'une démonstration : il n'y en a jamais plus de quarante…). En d'autres termes, il y a toujours en même temps la mobilité et l'immuabilité (Latour, 2006)[19]. Avouez qu'il y a de quoi être

18 Et encore : « L'essentiel est que les mathématiques grecques reposent beaucoup sur les relations d'équivalence, comme l'identité, l'égalité, la proportionnalité. Ces formules opèrent dans un double rôle : comme substrat pour la manipulation et comme autorisation pour la manipulation. « a:b:c:d » est à la fois un ensemble d'objets, dans lequel « a:b », par exemple, est prêt pour être substitué par d'autres rapports équivalents ; ensuite, comme affirmation sur les objets, permettant la substituabilité de « a:b » et « c:d ». Les relations d'équivalence sont à la fois la matière première et la salle des machines dans l'usine des démonstrations grecques. » (p. 196)

19 « Les mathématiques grecques sont des échanges de propriétés entre objets. Souvent, les arguments partent de l'existence d'un ensemble de propriétés pour conclure à l'obtention d'une autre propriété. Les théorèmes en général affirment que, quand une propriété est démontrée, il en est ainsi d'une autre. Les définitions sont des plus pratiques quand elles fournissent les éléments constitutifs de ces structures. » (p. 92-93)

totalement absorbé pour le reste de sa vie comme Archimède lui-même et ne pas noter l'ombre du soldat romain qui lève son épée pour le tuer ! Mais tout ceci nous le savons déjà ! C'est le truisme occidental sur ce qui sépare le réel et idéal. Eh bien pas du tout, car ce que Netz prouve, c'est que l'« idéal » est un effet produit par un travail expérimental non idéal et pratique sur la surface même où sont dessinés ces diagrammes marqués avec des lettres. Ce n'est pas que les mathématiques soient « abstraites » ; l'abstraction n'est pas plus faite d'abstractions que le fromage n'est fait à partir de fromage. L'abstraction est ce que les mathématiques ont appris à extraire du monde empirique. Les enchaînements ne se rompent jamais et l'immuabilité est obtenue par l'ensemble des transformations à la seule condition que le cheminement soit strictement limité aux formes.

Même la généralisation requiert des outils pratiques ; c'est une des règles essentielles des études sur les sciences mais que personne n'avait osé appliquer à la « généralité » des théorèmes et des démonstrations que nous considérons habituellement acquis. La généralisation, elle aussi, doit être produite étape par étape. Revenons un instant en arrière, là où Netz défend une position totalement contre-intuitive pour quiconque pense que le monde idéal des mathématiques est entièrement déjà présent et tout fait :

> Les propositions géométriques grecques ne concernent pas l'espace infini et universel. Les lignes et les plans dans les mathématiques grecques sont toujours des sections finies de lignes et de plans infinis que *nous* projetons. Elles sont, il est vrai, indéfiniment extensibles, pourtant elles sont finies. Chaque proposition géométrique installe son propre univers – qui est son diagramme. (p. 32)

En d'autres termes, les démonstrations d'Euclide ne se déploient pas *dans un espace euclidien* – tout au moins, pas encore, avant que plusieurs siècles de travail n'arrivent à le construire. Le grand paradoxe de la soigneuse démonstration de Netz sur ce que signifie pratiquement de faire une démonstration, c'est que l'extension de la démonstration est entièrement dépendante du petit monde délimité sur lequel elle repose. C'est précisément parce qu'elle n'embrasse pas tout qu'elle peut s'étendre « partout », bien que seulement « localement » ! Ceci ne devrait pas nous étonner, nous qui étudions les réseaux, mais c'est singulièrement rafraîchissant quand c'est appliqué aux théorèmes...

La différence est particulièrement éclairante quand elle est mise en rapport avec le type de généralisations que le langage philosophique prétend obtenir (il faut se souvenir que les dialogues de Platon essayent d'imiter le mode d'exposition des mathématiciens en procédant étape par étape).

> Socrate peut bien soutenir que l'art de la médecine n'étudie pas son propre intérêt mais les besoins du corps (...). En effet, sommes-nous tentés de répondre, il y a du vrai là-dedans. Mais dans quelle mesure ? Est-ce général ? Cette affirmation peut-elle être répétée pour d'autres

> arts que la médecine ? Vérifier avec quelques cas (comme le fait Socrate) est utile mais ne résout pas le problème. Nous ne pouvons pas prévoir jusqu'où s'étendent les limites parce que les cadres et les constituants de l'univers conceptuel qu'ils habitent sont vaguement indiqués. La simplicité du lexique mathématique, d'autre part, rend possible les vérifications. Nous savons non seulement ce que le texte affirme mais aussi quelles sont les options disponibles si nous avions à le manipuler et l'étendre.
>
> Ainsi, en résumé, la simplification de l'univers, au moyen des diagrammes qualitatifs et du langage limité et bien réglé, rend possible l'inspection visuelle de l'univers en son entier. Par conséquent, la généralisation est possible. (p. 266)

Socrate et les platoniciens peuvent se monter le cou avec tous les avantages que leur procure ce nouveau « jeu intellectuel » (généralisations, nécessité, universalité), mais ils ne pourront jamais cacher le fait que pour atteindre toutes ces merveilles il faut avoir incroyablement limité l'univers et s'en tenir aux seules formes des diagrammes avec lettres sans jamais chercher à sauter au contenu – ce qui est pourtant exactement ce qu'ils brûlent d'envie de faire. Le « laboratoire plat » donne des résultats à la seule condition de *rester* plat.

CONCLUSION : LA MAXIME DE POINCARÉ

Je n'ai fait qu'effleurer le livre de Netz. Presque chaque paragraphe est une mine de trésors de méthodes et de résultats pour l'étude des sciences. Si nous parvenons un jour à écrire une histoire alternative de la Raison, le métalangage pour re-décrire ce type de pratique scientifique ressemblera certainement – en précision, tonalité et humour – à ce que ce livre a réalisé à propos d'un sujet particulièrement difficile : en quoi consiste déduire rigoureusement une conséquence à partir d'une prémisse.

Je voudrais terminer par une des grandes leçons de ce livre. Malgré l'importance donnée aux diagrammes, il ne concerne pas le visuel en soi et certainement pas la dimension imaginaire des sciences. Il porte plutôt sur la littéralité obsédante des diagrammes qui sont le véritable sujet d'attention des mathématiciens grecs qui est justement le type de travail que l'« abstraction » et le « formalisme » n'étaient pas censés nécessiter afin de conduire à des résultats.

> Quand les mathématiciens disent déléguer certaines actions à l'« imagination », cela signifie, dans le cours ordinaire des choses, qu'ils veulent dire ce qu'ils veulent dire littéralement : le cercle de la démonstration est effectivement tracé, on n'imagine pas seulement de le tracer. Il ne suffit pas de dire que le cercle a été tracé dans un espace géométrique idéal parce que dans cet espace géométrique on pourrait

> tout aussi bien dessiner une sphère. Ainsi, l'action de la démonstration est littérale et l'objet de la démonstration doit être le diagramme lui-même car c'est seulement dans le diagramme qu'on peut littéralement dire que les actes de construction ont lieu. (p. 53)

Dans les études sur les sciences, une grande attention (pour ne pas dire une mode) est maintenant portée aux images en science. C'est assurément un beau contrepoids après avoir porté si longtemps toute son attention aux seules « idées ». Pourtant, cette nouvelle attention portée aux images pourrait ne conduire nulle part parce qu'à proprement parler il n'y a aucune image en science mais seulement des cascades de transformations d'une inscription à l'autre (Latour, 2006 ; Pinch, 1985). L'image scientifique prise isolément, en dehors de cette série de transformations, n'a aucun référent. L'idéalisme d'une science faite seulement d'idées risque d'être simplement remplacé par un « imaginisme » où la science ne serait faite que d'images. Le phénomène réel sur lequel il faut se concentrer, ce n'est ni les idées, ni les images et ce qu'elles représentent, mais la négociation entre ce que l'on doit conserver et ce dont on peut se défaire à chaque fois que l'on se déplace d'une trace scripto-visuelle à la suivante. Pour saisir ce mouvement, il ne suffit pas d'être attentif à la dimension visuelle : c'est dans ce déplacement par lequel la nécessité est transférée et conservée que consistent la déduction et la démonstration[20]. Netz fournit les outils qui permettent de se concentrer simultanément sur le matériel et sur les propriétés visuelles des diagrammes sans être fasciné par leur imagerie.

D'ailleurs, la maxime de Poincaré ne dit pas qu'on n'a pas besoin de diagramme. Elle indique qu'il existe une distance entre « penser correctement » et « mal dessiner ». La position de Poincaré n'est dès lors pas iconoclaste en ce sens qu'il ne prêche pas l'abstinence de toute figuration. La question est de définir cette distance entre la pensée et le dessin (ce « faire-croire » dans lequel Netz a vu la voie adéquate pour dégager le « plan idéal ») avec un tant soit peu de précision.

> C'est seulement parce qu'il y a un « faire-croire » inhérent au diagramme que le faire-croire de la transitivité est naturellement bien accueilli. « Ceci est égal à cela et ceci à cela, donc ceci à cela » – « Oh vraiment ? Vous les avez mesurés ? » – « Mais non voyons, ne fais pas l'imbécile. Il n'y a rien à mesurer ici, c'est juste un diagramme. »
>
> « Il n'y a rien à mesurer ici » : j'ai inventé cette réplique. Mais elle est se trouve dans l'original, dans le comportement du diagramme. C'est précisément cet aspect métrique, ces relations de mesure, que le diagramme ne représente pas. Diagrammes et formules sont donc fonctionnellement associés dans une structure simple. (p. 198)

20 C'est également le centre d'attention de Hutchins : « Dans cette unité d'analyse étendue, ce qui semblait être de l'internalisation apparaît maintenant comme une propagation progressive de propriétés fonctionnelles organisées à travers un ensemble de médias malléables » (1995, p. 312) et, plus généralement, de ce que j'ai appelé, pour cette raison, « mobiles immuables ».

S'il y a bien, comme je l'ai soutenu, une « guerre des images » dans les sciences et la religion (Latour, 2002), l'essai de Netz pourrait bien être un des très rares travaux qui soit parvenu à se frayer un chemin entre l'iconoclasme et l'idolâtrie en science. Pour reprendre les termes du dilemme proposé par Galison (2002) : « Si seulement nous pouvions nous passer de toute image ; hélas nous ne pouvons rien faire sans images. » Nous disposons maintenant donc pour la première fois d'une véritable étude iconophile du formalisme.

BIBLIOGRAPHIE

Bastide, Françoise (1990). The Iconography of Scientific Texts: Principle of Analysis, *in* M. Lynch and S. Woolgar (eds), *Representation in Scientific Practice*. Cambridge : MIT Press, 187-230.

Cassin, Barbara (1995). *L'effet sophistique*. Paris : Gallimard.

Chemla, Karine, Donald Harper and Marc Kalinowski (1999). *Divination et rationalité en Chine ancienne*. Paris : PUF.

Dear, Peter (1995). *Discipline and Experience : The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. Chicago : University of Chicago Press.

Eisenstein, Elizabeth (1991). *La Révolution de l'imprimé dans l'Europe des premiers temps modernes*. Paris : La Découverte.

Galison, Peter (1997). *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago : The University of Chicago Press.

Galison, Peter (2002). Images Scatter into Data. Data Gather into Images, *in* B. Latour and P. Weibel (eds), *Iconoclash*. Cambridge : MIT Press, 300-323.

Garfinkel, Harold, Michael Lynch and Eric Livingston (1981). The Work of a Discovering Science Construed with Materials from the Optically Discovered Pulsar. *Philosophy of Social Sciences*, 131-158.

Goodwin, Charles (1995). Seeing in Depth. *Social Studies of Science* 25, 237-284.

Goody, Jack (1979). *La raison graphique*. Paris : Minuit.

Hutchins, Edwin (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge : MIT Press.

Kaiser, David (2005). *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*. Chicago : The University of Chicago Press.

Knorr-Cetina, Karin and Klaus Amann (1990). Image dissection in natural scientific inquiry. *Science, Technology, & Human Values* 15, 259-283.

Lakatos, Imre (1984). *Preuves et réfutations. Essai sur la logique de la découverte mathématique* (traduction de Nicolas Balacheff et Jean-Marie Laborde). Paris : Hermann.

Latour, Bruno (2006). Les "Vues" de l'Esprit : une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques, *in* Madeleine Akrich et Michel Callon (2006). *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs.* Paris : Presses de l'École des Mines, 33-70.

Latour, Bruno (2001). *L'espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique* (traduit par Didier Gille). Paris : La Découverte.

Latour, Bruno (2007). A Textbook Case Revisited. Knowledge as Mode of Existence *in* E. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch and J. Wacjman (eds). *The Handbook of Science and Technology Studies -Third Edition*. Cambridge : MIT Press, 83-12.

Latour, Bruno and Peter Weibel (eds) (2002). *Iconoclash. Beyond the Image Wars in Science, Religion and Art*. Cambridge : MIT Press.

Livingston, Eric (1985). *The Ethnomethodological Foundations of Mathematical Practice*.

London: Routledge.

Lloyd, Geoffrey (1990). *Demystifying Mentalities*. Cambridge : Cambridge University Press.

Lloyd, Geoffrey (2005). *The Delusions of Invulnerability. Wisdom and Morality in Ancient Greece, China and Today.* London : Duckworth.

Lynch, Michael (1985). *Art and Artifact in Laboratory Science A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*. London : Routledge.

Lynch, Michael (1990). Pictures Of Nothing ? Visual Construals In Social Theory. *Sociological Theory* 9, 1-22.

Lynch, Michael (1991). Science in the Age of Mechanical Reproduction : Moral and Epistemic Relations between Diagrams and Photographs. *Biology and Philosophy* 6, 05-226.

MacKenzie, Donald (2001). *Mechanizing Proof: Computing, Risk, and Trust (Inside Technology)*. Cambridge : MIT Press.

Netz, Reviel (2003). *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics : A Study in Cognitive History*. Cambridge : Cambridge University Press.

Netz, Reviel (2004). *Barbed Wire: An Ecology of Modernity*. Wesleyan University Press.

Pinch, Trevor (1985). Observer la nature ou observer les instruments. *Culture technique*, 88-107.

Rotman, Brian (1987). *Signifying Nothing. The Semiotics of Zero*. London : Macmillan.

Rotman, Brian (1993). *Ad Infinitum. The Ghost in Turing Machine. Taking God out of Mathematics and Putting the Body Back.* Stanford : Stanford University Press.

Rosental, Claude (2003). *La Trame de l'évidence*. Paris: PUF.

Serres, Michel (1989). «Gnomon: les débuts de la géométrie en Grèce», *in Eléments d'histoire des sciences*. Paris : Bordas.

Shapin & Simon Schaffer (1993). *Le Léviathan et la pompe à air - Hobbes et Boyle entre science et politique* (traduction Thierry Piélat). Paris : La Découverte.

Warwick, Andrew (2003). *Masters of Theory : Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*. Chicago : The University of Chicago Press.

Bruno LATOUR, Professeur à Sciences Po. Il a publié notamment : *La vie de laboratoire* (1979), *Les Microbes, Guerre et paix* (1984), *La science en action* (1987), *Nous n'avons jamais été modernes* (1991), *Aramis ou l'amour des techniques* (1992), *Petites leçons de sociologie des sciences* (1996), *Paris ville invisible* (1998), *Politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie* (1999), *La fabrique du droit* (2002), *Changer de société, refaire de la sociologie* (2006), *L'espoir de Pandore* (2007).

ADRESSE : Sciences Po,
27 rue Saint-Guillaume
75007 PARIS

COURRIEL : Bruno.latour@sciences-po.fr