Les Mathématiques dans la cité, dir. Marie-José Durand-Richard (Presses universitaires de Vincennes, 2006), 129-154.

L'Institut des hautes études scientifiques, la théorie des catastrophes et le chaos déterministe : mathématiques, industrie et politique

David Aubin

Sollicitant des fonds du Comité National du Patronat Français pour la tenue du Congrès International des Mathématiciens à Nice en 1970, le mathématicien Pierre Lelong et Léon Motchane, directeur de l'Institut des hautes études scientifiques de Bures-sur-Yvette (IHÉS), écrivaient que le caractère de ce congrès « [serait] déterminé par l'importance accordée aux mathématiques appliquées. Le choix du Président [du Congrès], Jean Leray [...] est à ce point de vue, significatif de la tendance générale. Auteur de travaux théoriques abstraits, il n'en demeure pas moins l'artisan convaincu des mathématiques inspirées par la physique et la technologie [1]. »

Cette description du type de mathématicien que serait Leray – mathématicien abstrait inspiré par le concret – est représentatif de ce que je voudrais appeler ici une « troisième voie » de la pratique mathématique. Entre mathématiques pures et appliquées, le besoin se fait alors sentir d'inventer une nouvelle image des mathématiques. Cette dichotomie qui, à l'époque, domine la représentation standard de l'activité mathématique, n'a pas toujours existé : elle a lentement émergé au cours du XIXe siècle et, comme l'indique la lettre qui vient d'être citée, elle est entrée en crise à la fin des années 1960 [2]. Cherchant à se dégager de ce cadre rigide qui ne les satisfait plus, de nombreux mathématiciens ont commencé à explorer des voies diverses.

Située historiquement, la « troisième voie » à laquelle je me consacre ici constitue une réponse élaborée par quelques mathématiciens dans un cadre précis. Ceux-ci la perçoivent comme une alternative à l'opposition entre des mathématiques inutiles et sans rapport avec le monde extérieur et d'autres qui apparaissent comme utiles, parce qu'utilisées dans les sciences et les techniques. Leurs travaux, prétendent-ils, seraient inutiles du point de vue de la technique, mais utiles pour la compréhension du monde réel. Précisons encore que loin de vouloir proposer une troisième option immuable et éternelle à mi-chemin des deux pôles d'une dichotomie qui a fait son temps, il s'agit plutôt de montrer comment les conditions permettant de penser cette « troisième voie » se mettent en place à un moment donné, dans un endroit donné, comment elles opèrent dans le développement de nouvelles directions de recherche, et comment elles modifient l'image des mathématiques. J'insisterai aussi sur les rapports particuliers qui s'instaurent entre mathématiques, industrie et politique dans les premières années de la V^e^ république, en prenant comme cas exemplaire celui de l'IHÉS.

Les mathématiques, à quoi bon ?

À notre époque, la tentation est grande de ne voir, dans la lettre citée plus haut, qu'un pur exercice rhétorique destiné à soutirer des fonds au « patron des patrons », Paul Huvelin. Pourtant, au tournant des années soixante-dix, deux facteurs contribuent à faire de la question du rôle social des mathématiques une préoccupation urgente pour certains mathématiciens. D'une part, la mouvance de l'après 1968 remet en question le rôle des sciences, y compris mathématiques, dans les dispositifs militaires de l'État ; d'autre part, l'utilisation de l'ordinateur comme outil de recherche scientifique commence à se généraliser, voire à se banaliser, offrant l'espoir de remplacer certaines théories mathématiques compliquées par des algorithmes efficaces. En 1971, Leray lui-même exprime ses doutes quant à l'utilité sociale de sa profession : « La question suivante se pose et à nous-mêmes et au public : *"Les mathématiques, à quoi bon ?"*[3]. »

En réponse aux accusations d'inutilité que l'on porte contre les mathématiques, la défense de Leray est double. D'une part, écrit-il, « l'inusuel paraît nécessairement inutile à première vue ». Mais les exemples ne manquent pas, prétend-il, d'abstractions mathématiques ayant reçu des applications concrètes. C'est l'argument classique : connaître pour pouvoir *agir* sur le monde. D'autre part, poursuit-il, « l'humanité a autant besoin des hommes qui agissent que de ceux qui interrogent les mondes de la logique, de la physique, de la biologie [...], car la machine agira de plus en plus à la place de l'homme qui devra faire un effort de plus en plus grand pour connaître et éluder tous les mystères qui le cernent [...]. Pour que survive notre civilisation, qui n'est pas mécanique mais scientifique, nous devons fournir un effort intellectuel de plus en plus sévère ». Voilà qui paraît plus original : connaître non plus simplement pour agir, mais pour *survivre*[4].

À la question qui leur est posée avec une certaine urgence, une question qu'ils commencent à se poser à eux-mêmes, « pourquoi la mathématique[5] ? », des mathématiciens répondent : parce qu'elle rend notre monde *intelligible*. Cet argument fort répandu est également défendu par André Lichnérowicz par exemple, dans un rapport préparant la réforme de l'enseignement mathématique au lycée : « La mathématique joue [...] *un rôle privilégié* pour l'intelligence de ce que nous nommons le réel[6]. »

S'agit-il à nouveau de la vieille métaphore du livre de la nature prétendument écrit en langage mathématique ? Ne retrouve-t-on pas ici la position de Fourier, celle que les promoteurs des mathématiques pures, surtout les bourbakistes, ont eu tendance à dénoncer en répétant à l'envi le mot de Jacobi : « M. Fourier avait l'opinion que le but principal des mathématiques était l'utilité publique et l'explication des phénomènes naturels ; mais un philosophe comme lui aurait dû savoir que le but unique de la science, c'est l'honneur de l'esprit humain[7] » ?

Abstraire pour comprendre et expliquer : un vieux réflexe. Malgré la continuelle insistance sur le fait que les mathématiques possèdent une boussole interne qui leur est propre et qui en guide le développement, il s'agit pourtant d'une conception des mathématiques que les bourbakistes ont parfois adoptée du bout des lèvres[8]. Ainsi, dans son célèbre article sur « l'architecture des mathématiques », Bourbaki s'interroge-t-il : « Qu'il y ait une connexion étroite entre les phénomènes expérimentaux et les structures mathématiques, c'est ce que semble confirmer de la façon la plus inattendue les découvertes récentes de la physique contemporaine ; mais nous en ignorons totalement les raisons profondes, [...] et nous les ignorerons peut-être toujours. [...] La mathématique apparaît en somme comme un réservoir de *formes* abstraites – les structures mathématiques ; et il se trouve – sans que l'on sache bien pourquoi – que certains aspects de la réalité expérimentale viennent se mouler en certaines de ces formes[9]. »

Mais, comme l'expliquent Claude Chevalley et Arnaud Dandieu dès 1933, cette façon de concevoir les mathématiques s'appuyait sur un mode d'explication du monde par la construction d'entités elles-mêmes très abstraites[10]. Se référant à Lorentz, Einstein et de Broglie, ils déclarent : « On a expliqué quand [...] on a nié [à l'objet de l'explication] sa valeur propre, en le faisant dépendre de quelque chose de plus "profond". [...] Quand la Science recherche [...] l'explication du monde, [...] elle n'y atteint qu'en éliminant des tranches de plus en plus vastes de réel[11]. » Abstraction du monde, donc, plutôt que réification des mathématiques.

Pourfendeur des mathématiques appliquées – mathématiques qui ne méritent même pas ce nom au point que Dieudonné explique qu'il vaudrait mieux parler de « mathématiques » et d'« applications des mathématiques » [12] – Bourbaki défend une image des mathématiques pures qui est donc duale : celles-ci sont à la fois totalement indépendantes du monde réel et source d'intelligibilité de ce même monde. Du fait de leur totale autonomie, cependant, le pourquoi de l'adéquation entre mathématiques et réalité reste, pour les bourbakistes, un mystère[13].

La théorie des catastrophes entre mathématiques pures et appliquées

Avec la théorie des catastrophes qu'il développe entre la fin des années soixante et le début des années soixante-dix, le mathématicien René Thom va jeter un pavé dans la mare bourbakiste. Bien sûr, la théorie des catastrophes n'est qu'un des multiples facteurs qui contribuent à faire bouger l'image des mathématiques à ce moment-là. Cet exemple est néanmoins révélateur de la tendance à explorer de nouvelles voies, comme cette « troisième voie » brièvement décrite plus haut.

Il est aujourd'hui difficile de bien parler de la théorie des catastrophes tant elle a donné lieu à des exégèses contradictoires, mais aussi parce que nombre de ses éléments originaux ont par la suite été annexés par la théorie du chaos qui en a parfois transformé la signification. Ainsi, l'image aujourd'hui la plus répandue à propos de la théorie des catastrophes, est celle d'un réservoir de modèles, un cas finalement plutôt classique de mathématiques appliquées au XXe siècle – ou, plus précisément, de *topologie appliquée* – et qui a assez mal subi l'épreuve du temps. Mais il est nécessaire de se rappeler qu'à l'origine, la théorie des catastrophes représentait bien davantage dans l'esprit de son auteur.

Pour en faire une présentation succincte, disons que la théorie des catastrophes émerge au cours des années 1960 de la convergence de trois sources qui ont leur point de rencontre chez René Thom[14]. Il faut noter tout d'abord la topologie, en particulier les études sur les singularités de fonctions et les systèmes dynamiques, qui privilégie les notions de stabilité structurelle et de généricité. Sont particulièrement remarquables à cet égard les travaux de Christopher Zeeman sur la topologie du cerveau datant du début des années 60, qui donnent une première idée de la façon dont la topologie pourrait être utilisée dans la modélisation du vivant[15].

Puis viennent les préoccupations de Thom pour l'embryologie qui lui inspirent, sinon la notion d'attracteur elle-même, du moins la façon de s'en servir dans le but de modéliser les phénomènes naturels, y compris ceux des sciences physiques, en terme de finalité. De plus, son étude des travaux du biologiste écossais Conrad Hal Waddington lui permet de développer une « théorie dynamique de la morphogénèse [sic] », théorie générale dont l'ambition est de rendre compte de la création et de la destruction des formes dans la nature. Enfin, en s'intéressant à des problèmes de sémantique et de linguistique, Thom est confronté au mouvement structuraliste français, et y puise une nouvelle interprétation de la nature des explications en science[16].

Pour Thom, dès l'origine, la théorie des catastrophes n'est cependant pas une théorie de mathématiques appliquées. Elle est certes utile pour comprendre le monde, mais jamais dans le sens de l'action, de la prévision ou du calcul. *Intelligibilité* reste son maître mot. Thom explique que son opposition au schéma « mathématiques appliquées » s'exprime selon trois axes principaux, qui, tous, découlent du fait que, selon lui, la théorie des catastrophes est une méthode qui ne permet de développer que des modèles *qualitatifs*, et qu'en aucun cas, elle n'offre de justification pour l'élaboration de modèles quantitatifs.

En premier lieu, il insiste très tôt sur le fait que ses modèles ne fourniront pas de prédictions chiffrées, mais uniquement des *explications.* Pour Thom, une explication, c'est une réduction de l'arbitraire de la description, réduction qui doit être aussi économique que possible. Il n'est donc pas nécessaire de prédire pour expliquer. Il oppose Descartes à Newton : « Descartes avec ses tourbillons, ses atomes crochus, etc. expliquait tout et ne calculait rien ; Newton, avec la loi de gravitation en $1/r^2$, calculait tout et n'expliquait rien[17]. » En s'opposant ainsi aux mathématiques du calcul, Thom s'éloigne définitivement des mathématiques appliquées. De cet état de fait, il découle une deuxième opposition entre la théorie des catastrophes et les théories classiques des mathématiques appliquées, à savoir *l'impossibilité du contrôle expérimental,* sur laquelle il insiste lourdement dans les débats parfois vifs qui l'opposent à Zeeman. Enfin, troisième point, moins spécifique à la théorie des catastrophes, mais crucial pour la réception de cette théorie par les spécialistes de différentes sciences : Thom revendique fortement le fait que sa théorie soit *indépendante du substrat.*

À partir de la publication du livre de Thom en 1972, *Stabilité structurelle et morphogenèse*, et surtout après la diffusion assez large des travaux de Zeeman s'en inspirant, la théorie des catastrophes élémentaires devient assez populaire. Cette restriction de la théorie générale de la morphogenèse s'appuie sur la démonstration formelle et rigoureuse (complétée par John N. Mather en 1969) que les systèmes à petits nombres de variables et décrits par des gradients doivent nécessairement pouvoir être ramenés, de manière générique, à l'une ou l'autre des célèbres sept catastrophes élémentaires. Cette portion congrue de la théorie des catastrophes de Thom est celle qu'on reçoit comme formant un cadre théorique qui permet la modélisation des changements brusques causés par des variations continues de paramètres de contrôle internes cachés. Pour beaucoup, elle entre donc dans le moule classique des mathématiques appliquées. Mathématiques abstraites, formelles, rigoureuses, et surtout certaines, qu'on applique pour décrire des phénomènes, pour en tirer des modèles quantitatifs susceptibles d'être soumis au verdict de l'expérience.

Mais ce qui fait que personne n'a jamais eu l'idée de voir en Thom un mathématicien engagé du côté des mathématiques appliquées, c'est d'abord le fait qu'il prend rarement le temps de développer les modèles qu'il propose. De plus, il utilise les mathématiques d'une façon assez cavalière, s'en servant davantage comme un réservoir de métaphores que comme une source de certitudes théoriques. Bref, si je me permets ici d'utiliser un terme qui reviendra bientôt, Thom a besoin « d'interprètes » pour traduire ses idées générales en modèles particuliers susceptibles d'être compris par les scientifiques concernés.

La théorie des catastrophes acquiert ainsi un statut épistémologique assez vague : « le modèle des catastrophes est à la fois beaucoup moins, et beaucoup plus qu'une théorie scientifique, écrit-il ; on doit le considérer comme un *langage*, une méthode, qui permet de classifier, de systématiser les données empiriques, et qui offre à ces phénomènes un début d'explication qui les rende intelligibles[18]. » Il s'agit donc d'un exercice extrêmement formel, très abstrait. Comme le déclare Thom : « *In all sciences, CT {catastrophe theory} calls for the same cleaning of intuition, as Hilbert advocated in his "Grundlagen der Geometrie" for the foundation of Geometry : Eliminate the "obvious" meaning, and replace it by the purely abstract geometrical manipulation of forms. The only possible theoretisation is Mathematical*[19]. »

Phrase surprenante lorsqu'on se rappelle que le livre de Hilbert fut considéré par tous les bourbakistes comme l'acte de naissance du programme structural en mathématiques : programme qui, selon Dieudonné, visait à expulser définitivement toute intuition physique de la géométrie, par « une dissociation du sens et du nom [qui] concrétise, pour la géométrie élémentaire, le processus fondamental qui a libéré la mathématique des chaînes qui l'attachaient trop étroitement au réel[20] ».

Bien sûr, les mathématiques de Thom, la théorie des catastrophes, demeurent très éloignées des mathématiques pures à la Bourbaki. La différence est de deux ordres. D'abord, Thom s'oppose vigoureusement à la rigueur des bourbakistes qu'il considère comme stérile. Contrairement à Chevalley et Dandieu, il nie qu'elle soit porteuse d'intelligibilité : « L'absolue rigueur n'est possible que dans et par l'insignifiance[21] », c'est-à-dire par l'approche strictement syntaxique de la rigueur formelle. Ensuite, comme on l'a vu plus haut, Thom revendique fortement les inspirations exogènes dans sa pratique mathématique. Il hésite rarement à appeler à la rescousse les « chréodes » de Waddington – objets non formels s'il en est – dans de nombreux domaines qui n'ont rien à voir avec l'embryologie. Certes l'ouverture sur le monde prônée par Thom est bien loin de la soumission au calcul, comme en témoigne d'ailleurs Bernard

Malgrange en 1975 : « C'est, je crois, une *illusion* de penser qu'un développement des mathématiques fondé uniquement sur les grands problèmes légués par le passé et le dynamisme interne de notre science pourrait se poursuivre indéfiniment, sans qu'il en résulte à la longue de grands dommages. Il me semble que cette façon de voir n'a rien à voir avec un utilitarisme étroit et borné [22]. »

Rendre le monde intelligible : on avait à maintes reprises prétendu que les mathématiques en étaient capables. Avec la théorie des catastrophes, on assiste au développement de mathématiques spécialement élaborées dans ce but. En fait, selon Thom, ces mathématiques devaient enfin nous permettre de comprendre les raisons mêmes pour lesquelles le monde pouvait être rendu intelligible par les mathématiques.

S'exprimant à propos du problème de philosophie des sciences que soulève l'accord entre objets mathématiques et morphologies empiriques, Thom donne trois types de réponses, qui correspondent plus ou moins à ce que j'ai appelé ici les trois voies de la pratique mathématique :

> 1° La première attribue cet accord à une « harmonie préétablie » entre mathématique et réalité. [...] Dieu fait toujours de la géométrie.
> 2° La deuxième attribue l'apparition de la structure mathématique à un phénomène d'équilibre local, ou, comme on le dit en Mécanique, à la solution d'un problème d'extrémalité.
> 3° La troisième – qui est celle de notre modèle – attribue l'apparition de la structure à une hypothèse de *généricité* : en toute circonstance, la nature réalise la morphologie locale la moins complexe compatible avec les données initiales locales.
> La première réponse est pure métaphysique. La seconde peut être considérée comme scientifique, parce que susceptible, parfois, d'un contrôle quantitatif. [...] La troisième [...] offre un moyen d'expliquer la présence des structures, [elle] justifie dynamiquement leur apparition et leur stabilité [23].

Entre les mathématiques pures qui s'ajustent au monde comme par miracle et les mathématiques appliquées qui permettent le calcul, Thom propose, avec la théorie des catastrophes, une troisième voie pour la pratique mathématique, une voie expliquant l'apparition, la stabilité et la destruction des formes dans le monde. Voyons donc comment cette troisième voie s'ajuste au monde duquel elle est issue. En prêtant une attention particulière à la nature de l'Institut des

Hautes Etudes Scientifiques (IHÉS) où René Thom exerça l'essentiel de son activité professionnelle à partir de 1963, nous verrons apparaître de nouveaux aspects des conditions socio-culturelles qui permettent l'émergence de cette troisième voie[24].

Les fondements sociaux et idéologiques de l'IHÉS

Ce nouveau lieu des mathématique apparaît en 1958. Très précisément, le 27 juin à 16 heures, douze personnes sont réunies dans le bureau de Joseph Pérès, doyen de la faculté des sciences de Paris : le futur directeur Léon Motchane que je présenterai plus bas, une riche héritière et des représentants de plusieurs grandes sociétés françaises (Renault, Esso-Standard, Shell, Compagnie générale de TSF [CSF], pour ne citer que ceux qui apporteront effectivement leur soutien à l'IHÉS). Se joindront à eux au cours des années suivantes : Sovirel, Pont-à-Mousson, Saint-Gobain, Électricité de France, le Commissariat à l'énergie atomique, Fiat, Montecattini, et IBM-Europe. En plus de la grande industrie française, une bonne partie de l'élite mathématique française apporte son soutien à l'initiative ; celle-ci reçoit aussi le concours de Robert Oppenheimer, directeur de *l'Institute for Advanced Study* de Princeton, véritable eldorado de la recherche fondamentale qui est, pour tous ces hommes, le modèle à suivre.

La décision est alors prise de fonder une société à but non-lucratif (selon la loi de 1901), dont l'objectif, affirmé dans les statuts, sera de « favoriser et faire effectuer des recherches scientifiques théoriques dans les domaines des mathématiques pures, de la physique théorique et de la méthodologie des sciences de l'homme[25] ». L'Institut des Hautes Etudes Scientifiques fut donc une entreprise de caractère privé dont le but était de faire effectuer des recherches appelées « fondamentales », c'est-à-dire sans aucune considération d'application. De plus, il était entendu que ses professeurs ne devaient avoir aucune contrainte de quelque sorte que ce soit dans la sélection et la réalisation de leurs sujets de recherches. Les premiers professeurs de l'IHÉS seront mathématiciens : Jean Dieudonné et Alexander Grothendieck, que Motchane approche informellement au Congrès International des Mathématiciens à Édimbourg en août 1958.

En France, le modèle américain peine parfois à s'imposer. Il paraît alors difficile dans ces conditions de demander à la grande entreprise privée de subventionner ce genre d'établissement. De plus, les subventions devaient prendre la forme de contributions annuelles. Peut-on considérer que cette particularité de l'IHÉS, qui fut de dépendre de l'industrie pour son financement, a joué un rôle dans le genre de recherches qui furent entreprises et encouragées par l'Institut ?

L'initiative de la fondation revient, comme nous l'avons dit, à Léon Motchane. Né en 1900 à Saint-Pétersbourg de parents suisses, Motchane avait fait des études de mathématiques et de physique d'abord en Russie puis, après 1917, en Suisse. Dans la décennie qui suivit, il quitta la carrière scientifique pour se consacrer à diverses activités commerciales en France. Pendant la deuxième guerre mondiale, il entre dans la Résistance et publie aux éditions clandestines de Minuit deux ouvrages sociologiques qui sont un appel à la résistance et à la réflexion sur ce que devra être la France de l'après-guerre. Autour de 1948, il reprend ses études et complète son doctorat sous la direction de Paul Montel. C'est en 1958 seulement, avec la fondation de l'IHÉS, qu'à l'âge de 58 ans et après une pause de plus de 35 ans, Motchane est en mesure d'exercer, à plein temps, une activité directement liée au secteur scientifique.

Dès le printemps 1958, Motchane s'aperçoit qu'il lui sera difficile de compter sur les milieux du mécénat traditionnels (Rotschild, Rockefeller, etc.). Outre Motchane, Montel, Pérès et Oppenheimer, le comité de fondation de l'IHÉS s'adjoint deux industriels : Fernand Picard de la Régie Renault et Maurice Ponte de la CSF. Tout en insistant sur l'indépendance totale des chercheurs comme étant une condition *sine qua non* de l'entreprise, les membres du comité se lancent dans la recherche de soutiens financiers dans les grands secteurs dynamiques de l'économie française : chimie, sidérurgie, automobile, industries du même secteur (pneumatique, pétrole), aviation, et aussi le secteur de l'énergie largement contrôlé par l'État (électricité, gaz, nucléaire).

Une note envoyée par Léon Motchane, le 7 mai 1958, c'est-à-dire peu de temps avant la fondation officielle de l'IHÉS, à Pierre Ailleret, directeur général des études et recherches chez Électricité de France (EDF), résume l'argumentaire typique. Je citerai cette note dans son intégralité :

> Aucun sujet de recherche ne serait imposé aux savants appartenant à l'Institut de Recherches Fondamentales (I.R.F.) dont la fondation est prévue actuellement, de même que toute recherche orientée est bien

entendu hors de question, la liberté de choix étant le gage principal du succès.

Cependant, la sélection de la qualité des savants réunis au sein d'I.R.F. permet d'affirmer que le problème crucial de la physique théorique va être attaqué en collaboration par des mathématiciens et des physiciens : à savoir, la structure de la matière et la théorie des particules. Tout progrès dans ces domaines signifierait qu'on a réussi à sortir de l'impasse dans laquelle se trouve actuellement la physique théorique : C'est une supposition raisonnable si l'on se donne un délai de quelques années.

Par analogie avec ce qui s'est passé pendant la période de six années précédant la guerre, à savoir la mise au point du procédé de libération de l'énergie atomique résultant des études théoriques nucléaires, on pourrait se demander quel pourrait être le premier problème pratique important auquel aboutiraient les études théoriques définies plus haut. La réponse est facile à donner : il s'agit évidemment de la transformation directe de l'énergie nucléaire en énergie électrique, transformation qui éviterait toute réaction thermonucléaire. C'est le problème qui est à l'ordre du jour mais qui ne pourra être résolu avant que des progrès théoriques importants soient réalisés.

On ne voit actuellement que trois endraoit [*sic*] où de tels progrès pourraient être espérés : États-Unis (Princeton), URSS (Moscou) et Europe (Paris, éventuellement I.R.F.). La question de priorité ne jouera pas beaucoup en ce sens que les résultats d'un centre seront rapidement connus ailleurs. Cela permettrait de travailler presque simultanément aux applications.

Mais l'absence d'un tel centre qui entraînerait le manque total d'une équipe de savants entraînés et avisés serait grave car cette absence créerait un obstacle insurmontable empêchant de franchir le seuil entre la théorie et la pratique : on mettra des années à former des *interprètes* capables d'instruire les techniciens.

Il semble donc impensable qu'une organisation (EDF) qui a la responsabilité de la production de l'énergie électrique dans ce pays soit à l'écart d'une recherche de cette nature. Non seulement ces considérations justifient une subvention importante, mais il serait également à souhaiter que dès la formation du centre, un ou deux jeunes physiciens engagés par cette organisation bénéficient de l'enseignement d'I.R.F. qui est public et ouvert à tout le monde, afin

> d'être capables au moment venu de servir d'interprètes entre les savants et les ingénieurs[26].

Des interprètes : voilà l'apport fondamental que l'IHÉS devait fournir au monde industriel, aussi bien du côté nationalisé que privé et militaire. C'est un argument que Motchane et ses supporters répéteront à l'envi au cours des années qui suivent. Bien sûr, les savants permanents ou invités de l'IHÉS ne seraient pas eux-mêmes ces « interprètes », mais la présence de l'IHÉS sur le sol français permettrait aux spécialistes de l'industrie et de l'armée de venir s'instruire pour ensuite devenir ces « interprètes ». Peu importe pour mon propos que les industriels aient cru ou non à cet argument, il allait contribuer à établir une hiérarchie propre à l'IHÉS quant au genre de recherche fondamentale qui y serait le plus valorisé[27].

Mais qu'est-ce donc que cette *recherche fondamentale* qui devait se faire à l'IHÉS ? La dépendance de Motchane par rapport à l'industrie privée l'avait conduit à insister sur les bénéfices ultimes que la recherche fondamentale pourrait apporter au genre humain, et surtout aux compagnies qui la financent, ce qui peut paraître une manière paradoxale de défendre la recherche fondamentale. En effet, ce genre de recherche ne devait-il pas être poursuivi avec des motifs purement internes aux disciplines scientifiques concernées ? Lorsque Motchane insiste sur le rôle que l'IHÉS pourrait jouer dans la formation « d'interprètes » entre la recherche fondamentale et ses applications potentielles, ne s'éloignait-il pas de cet idéal ?

Ces questions sont centrales pour atteindre une meilleure compréhension du genre de recherches que l'IHÉS promouvrait. Motchane est catégorique sur un point : aucune contrainte sur les sujets de recherche choisis par les scientifiques ne devrait venir des organismes les finançant. Mais il reste clair, pour Motchane comme pour les industriels impliqués, que les recherches de l'IHÉS, quoique « fondamentales », recèlent un important potentiel en vue d'applications futures militaires et industrielles. Bien sûr, personne ne croit que quoi que ce soit de directement utile pour l'industrie ou la défense nationale puisse sortir de l'IHÉS. Mais l'hypothèse de départ, largement partagée, reste que ces recherches fondamentales pourraient un jour s'avérer utiles. Comme le déclare François Le Lionnais, en conclusion d'une émission de radio où il interviewe Motchane et Montel à propos de l'IHÉS :

> Je crois qu'on ne le répétera jamais assez ! En général, on touche les bénéfices de la Recherche fondamentale beaucoup plus tard que ceux de la Recherche appliquée. Mais ils se révèlent, en moyenne, considérablement plus grands. Au total, la Recherche fondamentale constitue le placement le plus avantageux de l'humanité.

Lorsque l'on considère les recherches conduites à l'IHÉS par la suite, et plus particulièrement la théorie des catastrophes et le chaos déterministe – également issu en partie de cet Institut –, il semble que cette idéologie de la recherche fondamentale ait eu un effet sur l'orientation du genre de travaux qui serait le mieux considéré par l'Institut. C'est ainsi que, concrètement, s'ouvre la possibilité d'une troisième voie à mi-chemin entre les sciences pures et les sciences appliquées. La recherche fondamentale promue par l'IHÉS restait libre d'influences extérieures, mais pleinement consciente des demandes du monde extérieur (industriel et militaire).

Comme je l'ai montré plus haut, la théorie des catastrophes correspond bien à cette caractérisation. En ouvrant de nouvelles voies pour la compréhension de phénomènes naturels, elle démontre que les mathématiques pures pouvaient façonner notre appréhension des structures de la nature, tout en demeurant très peu concernée par les usages pratiques ou techniques. De même, l'intelligibilité, plutôt que la prédiction, le calcul ou l'action, devient aussi l'idéal de l'IHÉS pour la recherche fondamentale.

Ceci entraîne, du point de vue de Motchane et des administrateurs, que les aires de recherches les mieux considérées à l'IHÉS restent la recherche mathématique sur les structures fondamentales et sur le développement de langages d'une grande généralité, la recherche physique sur les structures mathématiques des théories physiques, en insistant sur la physique des particules élémentaires, et la recherche sur les méthodologies en sciences humaines, c'est-à-dire sur la structure des théories en sciences humaines et sociales. De plus, il est clairement affirmé que c'est en favorisant la collaboration de scientifiques appartenant à ces différents domaines que ces buts seraient accomplis au mieux.

Il doit bien cependant y avoir une limite à cet argument, puisque l'IHÉS est également le lieu d'élaboration d'un des monuments mathématiques qui restera certainement parmi les sommets de l'abstraction du XX^e^ siècle, à savoir les travaux de Grothendieck en géométrie algébrique, et en particulier ses théories des schémas et topoï. Les fameux *Éléments de géométrie algébrique*, écrits en collaboration avec Dieudonné, sont d'ailleurs des publications de l'IHÉS, et parmi les plus demandées (bien plus que celles traitant de la théorie des catastrophes). Un article de la revue *Entreprise* caractérise Grothendieck de la manière suivante : « unanimement considéré comme l'un des plus puissants mathématiciens vivants, [il est aussi] l'un des plus terribles pourfendeurs des mathématiques appliquées [28]. »

En fait, en tant que langage d'une grande généralité, les théories de Grothendieck pouvaient être facilement défendues par Motchane comme entrant dans le cadre décrit plus haut : « fidèles à notre conception de la recherche fondamentale, déclare-t-il à ses bailleurs de fonds, nous nous sommes tournés vers les savants qui sont attirés et intéressés par les problèmes nouveaux d'une grande généralité, problèmes qui, de ce fait, se trouvent être parmi les plus difficiles. Il a appartenu à Grothendieck, venant après André Weil, Leray et Serre, de créer à son tour un langage nouveau, et partant, de renouveler les méthodes de la géométrie algébrique, méthodes puissantes, originales, qui pourront servir avec succès ailleurs[29] ». Mais quel était donc cet « ailleurs » ?

De façon constante, les travaux mathématiques de Grothendieck et de toute son école seront présentés par Motchane aux administrateurs de l'IHÉS comme un nouveau langage mathématique tendant vers l'unification de ce domaine. En 1966, il louera ses « nouvelles méthodes qui déteignent même sur la topologie et l'analyse, tout récemment ». En 1969, c'est sur la base des résultats de Grothendieck qu'il leur déclarera que : « les Mathématiques tendent à redevenir universelles [30]. »

Les travaux de Grothendieck et de son entourage demeurent extrêmement abstraits. Cependant, l'une des indications les plus spectaculaires du fait que l'IHÉS, de par son caractère particulier, pouvait encourager le développement d'une certaine attitude vis-à-vis de l'utilisation des mathématiques est donnée par une lettre que Grothendieck écrit à Motchane [31] au début de 1970 :

> Sa situation sur le plan scientifique me semble plus brillante et plus prometteuse pour l'avenir qu'elle ne l'a jamais été [...]. [Alors] que dans le passé les relations sur le plan scientifique entre les divers permanents à l'IHÉS étaient pratiquement nulles, tant entre les physiciens et les mathématiciens qu'entre Thom et moi, cette situation est en train de changer depuis quelques mois. Les

> « catalyseurs » ont été en l'occurrence Zeeman et Dumitrescu (un biologiste roumain [...]). Zeeman a fait de grands efforts pour populariser les idées de Thom sur les modèles mathématiques universels (les « catastrophes ») en sciences naturelles, et il m'a convaincu de l'importance de ces idées et de la nécessité de les assimiler. D'autre part, Dumitrescu est en train de faire à l'IHÉS un séminaire extrêmement stimulant d'introduction à la biologie moléculaire. [...] Thom a assisté aux deux dernières séances, Ruelle à la dernière. [...] Pour ma part, [...] j'envisage sérieusement de mettre à profit les conditions de travail exceptionnelles que j'y trouve [à l'IHÉS] pour consacrer quelques années à acquérir certaines connaissances de base dans les sciences naturelles, notamment physique et biologie avec l'espoir de pouvoir par la suite contribuer à une attaque interdisciplinaire de certains problèmes, trop soumis à présent aux seuls spécialistes.

C'est à la même époque, entre 1966 et 1970, que plusieurs topologues proches de Thom commencent à s'intéresser à l'utilisation qu'ils peuvent faire de leur pratique dans de nombreux domaines. Les plus remarquables d'entre eux sont Christopher Zeeman, Ralph Abraham et Steve Smale, qui, tous, visitent fréquemment l'IHÉS et y développent plusieurs de leurs modèles[32]. De même, Motchane articule, lui aussi, une certaine « philosophie naturelle » divisant les domaines du savoir selon les structures mathématiques.

C'est également dans ce cadre que David Ruelle s'attache à l'étude des systèmes dissipatifs. Au cours d'un séjour en Californie, ce physicien théoricien belge marqué par le bourbakisme, embauché comme professeur permanent de l'IHÉS en 1964, écrit dans une lettre à Motchane, le 7 octobre 1968 :

> Il m'a semblé que le moment était venu pour moi d'essayer de faire autre chose que de la mécanique statistique et que mon séjour ici était particulièrement adéquat pour un tel changement. J'essaye donc pour l'instant de regarder certains problèmes d'hydrodynamique ou plus généralement de "phénomènes dissipatifs" d'un point de vue physique un peu analogue à celui de Thom. Les phénomènes sont fascinants, mais on ne voit pas très bien ce qu'on peut en faire mathématiquement[33].

L'importance du contexte fourni par l'IHÉS est illustré par la réponse enthousiaste de Motchane :

> Votre lettre m'a fait grand plaisir. Plus particulièrement ce que vous me dites au sujet du « changement d'orientation ». [...] Si vous avez en vue les « phénomènes dissipatifs » dans un sens très général, il *n'existe pas encore*, à ma connaissance, de bon instrument mathématique, ni méthode adéquate pour aborder l'étude des phénomènes physiques. Vous retrouvez « *le* grand problème » actuel, à savoir : la recherche d'un instrument mathématique *spécifiquement adapté* à l'interprétation des phénomènes physiques[34].

« Il y a une très bonne chance, écrivait Ruelle à propos de son nouvel intérêt scientifique, que rien ne sorte de tout cela, auquel cas je tirerai une ligne à la fin de mon séjour ici, je donnerai un séminaire et j'arrêterai les frais ». Comme on le sait, ce n'est pas du tout ce qui arrivera. Ce travail est en grande partie responsable de l'émergence de la théorie du chaos déterministe[35]. Avec le mathématicien Floris Takens, invité par Thom à l'IHÉS, Ruelle introduit la notion d'« attracteur étrange », une notion qui découle directement des travaux de Thom et Smale, et propose une nouvelle explication, uniquement mathématique, pour l'apparition de la turbulence dans les fluides. Avec cette explication, on voit bien que les mathématiques en tant que schéma d'intelligibilité, et non plus seulement en tant qu'instruments de calcul, font une nouvelle entrée remarquée dans le domaine de la physique classique.

Mathématiques et politique après mai 1968

Par-delà le rôle qu'il a pu jouer dans la naissance et l'élaboration de cadres théoriques comme la théorie des catastrophes et la théorie du chaos déterministe, le contexte particulier de l'IHÉS montre en quoi ces théories sont également des réponses apportées aux questions politiques relatives au rôle social des mathématiques. Ces questions se posent avec une urgence toute particulière dans le domaine militaire. Le divorce entre des pratiques relevant des mathématiques pures et leurs implications politiques permet à certains de faire l'économie d'un dilemme moral. Sous la plume de Bourbaki, dont quelques membres étaient pourtant très politisés, paraît en 1949 une illustration frappante de cette attitude :

> *Why have some of the most intricate theories in mathematics become an indispensable tool to the modern physicist, to the engineer, and to the manufacturers of atom-bombs ? Fortunately for us, the mathematician does*

not feel called upon to answer such questions, nor should he be held responsible for such use or misuse of his work[36].

L'implication dans des travaux de « recherche fondamentale » permettait de garder bonne conscience à peu de frais, comme en témoigne Dieudonné reflétant l'idéologie qui préside à la fondation de l'IHÉS : « Si certains redoutent les sciences "appliquées" pour les *catastrophes* qu'elles peuvent engendrer, peu nombreux sont ceux qui vont jusqu'à contester la valeur des sciences "fondamentales", dégagées si possible de l'usage qu'on en fait[37]. » Certains bourbakistes plus jeunes s'en inquiètent mais se retranchent toujours derrière l'alibi de l'inutilité. À l'appui de cette position, on cite souvent une lettre que Roger Godement envoyait au *Monde* du 9 septembre 1970 pour dénoncer la coopération des scientifiques avec l'armée. En parlant des groupes d'homotopie des sphères, il reproduit l'argument du divorce : « ne servant à rien, ils sont du moins inoffensifs [38]. »

Vers la fin des années 60 et le début des années 70, face à l'implication massive des mathématiciens dans l'appareil de guerre, la politique de l'autruche n'est plus acceptable. Il ne peut plus être question de nier que les mathématiques, même les plus pures, trouvent des applications dans la société civile et militaire[39]. Pour un certain nombre de mathématiciens, il s'agit dès lors de travailler à l'émergence d'une « troisième voie » de l'utilisation politique des mathématiques, comme en témoigne Steve Smale qui s'était vivement impliqué dans la contestation contre la guerre du Viêt-Nam : « *These days especially, provocative questions confront a socially conscious scientist when he begins to contemplate where applications of his work might lead. (...) I wonder to what extent I should explicitly direct my work towards socially positive goals*[40]. » On peut aussi citer les réflexions du topologue Ralph Abraham, lui aussi familier de l'IHÉS : « *I have been deeply concerned with the social problems of the world, the misuse of technology, and the basic question : is mathematics worth doing. (...) My position on these matters, at present, is represented by this paper (on catastrophe theory)*[41]. »

La réponse de Grothendieck à ces pressions politiques et morales est tristement célèbre. Toujours iconoclaste, il se heurte de front à son ancien collègue Dieudonné lors du Congrès de Nice ; il s'oppose au financement militaire de l'IHÉS jusqu'à en démissionner ; en quelques années, il abandonne toute activité mathématique afin de se consacrer à un militantisme désespéré... qui ne récolte que peu de soutien. Dans son opinion, les mathématiques qu'il pratiquait ne semblent pas pouvoir lui fournir l'option de s'opposer au système de l'intérieur.

Si Thom aussi perçoit l'existence d'une « crise » en science, il s'agit surtout d'une crise interne, épistémologique, plutôt que sociale[42]. Il demeure assez sceptique au sujet de l'organisation, chère à Grothendieck, d'un mouvement destiné à promouvoir chez les scientifiques le sentiment de leurs responsabilités. Lors d'une conférence qu'il prononce à la Sorbonne le 9 mars 1977, à la demande du Mouvement Universel de la Responsabilité Scientifique, il adopte une position très proche de celle de Bourbaki :

> Lorsque j'ai créé la théorie des catastrophes, il y a une dizaine d'années, il ne m'est jamais venu à l'esprit que cette théorie pourrait recevoir une utilisation malfaisante. J'en suis moins sûr aujourd'hui, [...] mais s'il était à refaire, je referais ce chemin, étant donné que les possibilités d'application intéressante ou bénéfique peuvent contrebalancer les utilisations malfaisantes [43].

Thom oppose donc deux types de recherches : la recherche fondamentale et la recherche dirigée. Il est sévère face au second type : « Le mathématicien appliqué qui calcule le profil d'une aile de bombardier sait à quoi servira son travail ; à sa place, je n'aurais pas la conscience tranquille ». Thom conclut donc qu'il faut favoriser la recherche fondamentale au détriment de la recherche dirigée. Pour autant, Thom ne retombe pas dans la défense de la sainte autonomie des mathématiques : il admet que les citoyens qui financent la recherche ont le droit de savoir à quoi sert leur argent. Entre l'élitisme d'une petite caste et la soumission aux volontés militaires ou industrielles, Thom prône une mathématique qui serait « une démocratie de la connaissance où tout un chacun a droit de regard et droit de juger ». Aux nombreuses raisons épistémologiques que Thom avance pour justifier que les mathématiques offrent un outil d'intelligibilité pour le réel et vice versa, s'ajoute un souci de se soumettre à la volonté du public. C'est pourquoi, très conscient de sa position privilégiée en tant que chercheur payé pour penser, Thom estime que la recherche mathématique fondamentale se doit de rester en contact avec le réel. Contre le volontarisme militant de Grothendieck, Thom oppose un fatalisme résigné : « La connaissance ne sera plus nécessairement une promesse de réussite, ou de survie ; elle pourra être tout aussi bien la certitude de notre échec, de notre fin [44]. »

Conclusion

L'histoire de la théorie des catastrophes doit se comprendre dans le cadre de l'émergence d'une alternative à un discours alors dominant, bien que contesté, insistant sur la dichotomie entre mathématiques pures et mathématiques appliquées. De plus, les conditions d'émergence de la théorie des catastrophes font clairement apparaître que cette « troisième voie » cadrait bien avec la mission que s'était donnée l'IHÉS, les termes de cette mission étant bien entendu adaptés au contexte socio-politique dans lequel l'Institut avait été créé. Enfin, la troisième voie épistémologique correspond à un projet moral et politique particulier. Il s'agit de relever le défi de la pertinence des mathématiques sans sombrer dans ce qu'on continue de craindre comme un utilitarisme militaire « étroit et borné », selon l'expression de Thom.

Une des solutions au problème notoirement épineux de l'adéquation entre mathématiques et nature passe, à mon avis, par l'étude approfondie de l'adéquation entre pratiques mathématiques et pratiques sociales : il faut étudier les communautés de producteurs et d'usagers de mathématiques, les pratiques matérielles liées aux pratiques mathématiques, et les lieux de leur production et utilisation. De mon point de vue, loin d'une critique épistémologique de la dichotomie mathématiques pures / mathématiques appliquées, l'un des axes les plus prometteurs de la recherche sur l'histoire des mathématiques devrait être l'étude de ces *lieux de mathématiques,* ces espaces socio-culturels où interviennent les mathématiques sous quelque forme que ce soit. En montrant la diversité de ces lieux, la diversité des pratiques mathématiques qui leur sont liées et la diversité des acteurs qui y interviennent, nous serons peut-être mieux en mesure de comprendre les mutations non seulement des connaissances mathématiques, mais aussi de leurs modes d'intervention dans les sciences et la société.

Notes

1. Lettre de Pierre Lelong et Léon Motchane à Paul Huvelin, président du Comité national du patronat français (CNPF) (19 novembre 1969. Archives de l'IHÉS (Arch. IHÉS). Je remercie ici Jean-Pierre Bourguignon pour la permission qu'il m'a donnée d'examiner et d'utiliser les archives de cet institut, ainsi que Vlenda Mayer pour son aide

précieuse pendant ma consultation de ces documents. Ce travail a été en partie financé par le Conseil de recherches en sciences humaines et sociales du Canada et la bourse John C. Slater de l'*American Philosophical Society*. Je remercie également Marie-José Durand-Richard et Amy Dahan Dalmedico pour leurs nombreux commentaires.

2. Sur les images des mathématiques depuis la Révolution française, voir *Changing Images in Mathematics: From the French Revolution to the New Millenium,* dir. A. Dahan Dalmedico and U. Bottazini, Routledge, 2001.
3. Jean Leray à Georges Desbrières, président du Comité de soutien pour la diffusion des travaux du Congrès de Nice (21/6/71). Arch. IHÉS.
4. Cette idée est exprimée avec force dans une nouvelle jusqu'à présent inédite de René Thom, « L'étrange expérience du professeur Lascernaw. Conte métaphysique » (écrit en 1949), qui vient d'être publié dans le CD-rom des *Œuvres complètes de René Thom,* sous la dir. de Michèle Porte et Jean-Pierre Bourguignon, IHÉS et EDP Sciences, Paris, 2003. *Cf.* D. Aubin, « Œuvres complètes de R. Thom », *Universalia 2004,* Encyclopedia Universalis, Paris, 2004.
5. Rappelons que c'est là le titre d'un ouvrage collectif publié chez « 10/18 », UGE, Paris, 1974.
6. *Rapport préliminaire de la Commission ministérielle préparant le changement de programme de l'enseignement secondaire* (1967) ; André Lichnérowicz, « Les mathématiques et leur enseignement », *Bulletin de l'APM,* n° 275/276, automne 1970 ; « Le regard mathématique », *L'Éducation,* 1er novembre 1979 ; cité dans D. Nordon, *Les Mathématiques pures n'existent pas !* Actes Sud, La Paradou, 1981, p. 17.
7. Epigraphe de Jean Dieudonné, *Pour l'honneur de l'esprit humain. Les mathématiques aujourd'hui*, Hachette, Paris, 1987, p. 7.
8. À propos de l'autonomie des mathématiques, l'on peut par exemple citer les propos de Charles Ehresmann : « Je ne crois pas qu'un mathématicien voie dans cette efficacité [celle qu'on rencontre pour les applications pratiques] la justification de ses efforts car le vrai but de son rêve perpétuel est de comprendre la structure de toute chose. » Cité par René Guitart, « Sur les contributions de Charles Ehresmann à la théorie des catégories, » *Gazette des mathématiciens,* n° 13, février 1980, p. 37-43 ; citation à la p. 42.
9. Nicolas Bourbaki, « L'architecture des mathématiques », *Les Grands Courants de la pensée mathématique,* sous la dir. de François Le Lionnais, nouvelle édition augmentée, Albert Blanchard, Paris, 1962 [1948], p. 35-47, 46. Voir aussi David Aubin, « The Withering Immortality of Nicolas Bourbaki : A Cultural Connector at the Confluence of Mathematics, Structuralism, and the Oulipo in France », *Science in Context,* 10, n° 2, 1997, p. 297- 342.
10. Autre exemple révélateur de ce genre d'attitude : l'économiste Gérard Debreu déclare en 1959 que « *the effort toward rigor* [...] *leads to a deeper*

understanding of the problem to which it is applied. » *Theory of Value,* Yale University Press, New Haven, 1959, p., cité par E. Roy Weintraub et Philip Mirowski, « The Pure and the Applied : Bourbaki Comes to Mathematical Economics », *Science in Context,* 7, 1994, p. 245-272, 257.

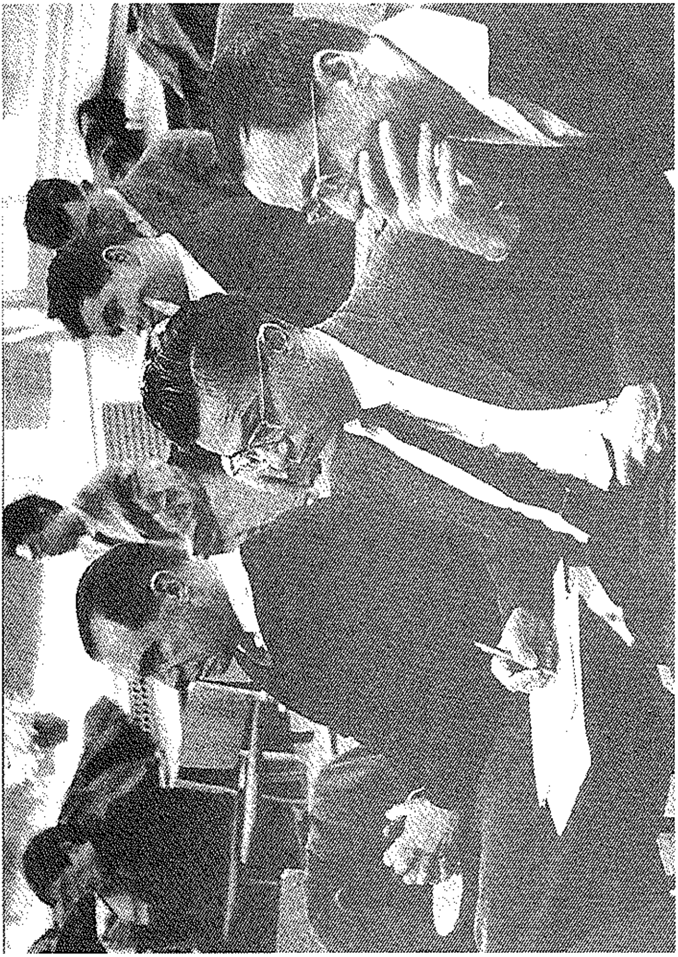
11. Claude Chevalley et Arnaud Dandieu, « Esquisse d'une Phénoménologie du Savant », *Cahiers du Sud,* tome 10, décembre 1932, p. 770-789, citations p. 782 et 785 ; voir p. 781 pour référence aux physiciens. Voir aussi « Logique hilbertienne et psychologie », *Revue philosophique de la France et de l'étranger,* 57e année, n° 1/2, janvier-février 1932, p. 99-111. On remarquera la violence du langage et le vocabulaire « d'exclusion » qui y est employé. Je remercie Catherine Chevalley de m'avoir communiqué ces articles.
12. « Ce sont deux démarches de l'esprit *très différentes,* qu'il vaudrait mieux appeler "mathématiques" et "applications des mathématiques". » Dieudonné, *op. cit.*, p. 29.
13. Ce mystère, si insatisfaisant d'un point de vue philosophique, fut bien sûr l'objet de nombreux débats dans lesquels je ne veux pas m'aventurer ici. *Cf.,* par exemple, Jean Ullmo, *La Pensée scientifique moderne,* Flammarion, coll. « Champs », Paris, 1969, p. 254 : « Le problème de l'adéquation [entre mathématique et réalité] est ainsi résolu ; [...] la raison n'est pas une donnée qui s'impose à la nature, elle est une activité qui s'instruit de la nature, élabore les opérations qu'elle en a tirées et les propose ensuite à sa confirmation. » Pour mon propos, l'important reste que la position bourbakiste décrite ci-dessus fut largement partagée et forme le contexte contre lequel s'éleva un René Thom.
14. David Aubin, « Forms of Explanations in the Catastrophe Theory of René Thom : Topology, Morphogenesis, and Structuralism », *Growing Explanations : Historical Perspective on the Sciences of Complexity,* sous la dir. de Norton Wise, Duke University Press, Durham, 2004, p. 95-130.
15. Erci Christopher Zeeman, « The Topology of the Brain and Visual Perception », *Topology of 3-Manifolds and Related Topics : Proceedings of the University of Georgia Institute 1960-1961*, sous la dir. de M. K. Fort, Prentice Hall, Englewood Cliff, 1962, p. 490-493 et « Topology of the Brain », *Mathematics and Computer Science in Biology and Medicine,* Her Majesty's Stationary Office, Londres, 1965, p. 272-292. Voir à ce propos, David Aubin, "From Catastrophe to Chaos : The Modeling Practices of Applied Topologists", *Changing Images in Mathematics, op. cit.*, p. 255-279.
16. Voir, en particulier, René Thom, « Topologie et signification », *L'Âge de la science* 4 (1968), p. 1-24 et « Structuralism and Biology », *Towards a Theoretical Biology* 4, sous la dir. de Conrad Hal Waddington, Univ. of Edinburgh Press, Édimbourg, 1972, p. 68-82.
17. René Thom, *Stabilité structurelle et morphogenèse. Essai d'une théorie générale des modèles,* 2ᵉ éd., Edisciences, Paris, 1997, p. 5-6. Il cite Rutherford

comme symbole du mépris de la physique moderniste pour les phénomènes non numériquement descriptibles : « Qualitative is but poor quantitative. »

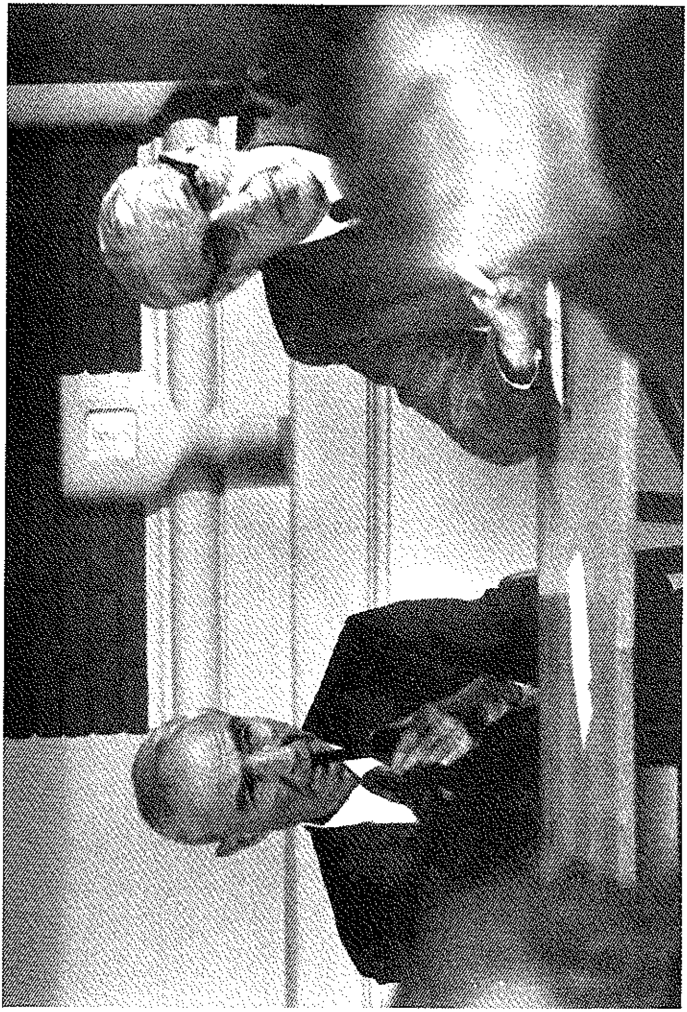
18. René Thom, « La Théorie des catastrophes : état présent et perspectives. » *Cf.* Erci Christopher Zeeman, *Catastrophe Theory,* Addison-Wesley, Reading, 1977, p. 366.
19. *Ibid.*, p. 389.
20. Jean Dieudonné, *Pour l'honneur,* op. cit., 54. Cf. J. Dieudonné, « David Hilbert (1862-1943), » *Les Grands Courants,* 291-297 ; Nicolas Bourbaki, « L'Architecture » ; les articles de Chevalley et Dandieu, etc.
21. René Thom, « Mathématiques modernes et mathématiques de toujours », Congrès d'Exeter I.M.E. (1972), repr. in *Pourquoi la mathématiques ?,* coll. « 10/18 », UGE, Paris, 1974, p. 39-56, citation p. 49. *Cf.* aussi, « Mathématiques "modernes" : une erreur pédagogique et philosophique », *ibid.*, p. 57-88, à l'origine *L'Âge de la science,* III, 3, 1970, p. 225-242.
22. Bernard Malgrange, « À propos d'un article de Jean Dieudonné », *Gazette des mathématiciens,* n° 3, février 1975, p. 34-37. Citation p. 37.
23. René Thom, *Modèles mathématiques de la morphogenèse. Recueil de textes sur la théorie des catastrophes et ses applications,* Christian Bourgois, coll. « 10/18 », 1974, p. 24-25.
24. Voir David Aubin, « Un pacte singulier entre mathématique et industrie. L'enfance chaotique de l'Institut des hautes études scientifiques », *La Recherche* n° 313 (octobre 1998), p. 98-103.
25. *Journal officiel de la République française* (16 juillet 1958), tome 90, n° 165, p. 6652.
26. Arch. IHÉS. *Cf.* David Aubin, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos : Around the Institut des Hautes Études Scientifiques,* thèse de doctorat, Princeton University, 1997, p. 236-237.
27. Les industriels ont-ils cru à cet argument ? Oui et non. Les raisons qui les conduisent à adhérer au projet de Motchane sont multiples et complexes : déduction d'impôts, motivations patriotiques, excitation de participer à une entreprise de recherches fondamentales à laquelle est lié un Oppenheimer alors au faîte de sa renommée, et, surtout, dans un contexte économique favorable, les bénéfices indirects d'un accroissement du niveau scientifique général de la nation ou de l'Europe par rapport aux Américains. Comme Paul Montel le déclare à la radio le 30 mars 1961 : ces chefs d'industrie « servent le renom du pays, non seulement par l'éclat des découvertes que cette action provoque, mais aussi par l'amélioration des fabrications et des produits entraînant pour lui un bénéfice matériel et moral ». *Cf.* le résumé préparatoire de l'émission « Les hauts-lieux de la recherche fondamentale » dans le cadre de la série « La Science en marche, » entretien de François Le Lionnais avec Paul Montel et Léon Motchane ; émission mise au point le 9 février

1961, enregistrée le 8 mars 1961 et diffusée le 30 mars 1961 à 19h20, p. 12. Arch. IHÉS.

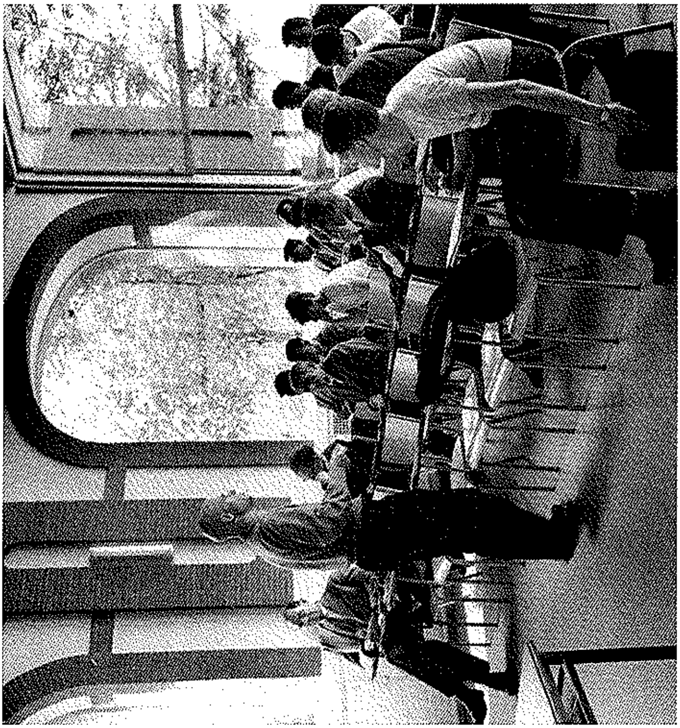
28. Jacques Baron, « Au premier rang mondial, l'École mathématique française » *Entreprise,* n° 726/727, 9-16 août 1969, p. 24-33, 25.
29. Rapport Scientifique 4 juillet 1958-31 décembre 1959 (2/2/60). Arch. IHÉS.
30. Notes manuscrites de Annie Rolland, Assemblées générales des 1/12/66 et 10/12/69. Arch. IHÉS.
31. Alexander Grothendieck à Léon Motchane (26/1/70). Arch. IHÉS.
32. David Aubin, "From Catastrophe to Chaos", art. cit.
33. David Ruelle à Léon Motchane (7/10/68). Arch. IHÉS.
34. Léon Motchane à David Ruelle (16/10/68). Arch. IHÉS.
35. David Aubin et Amy Dahan Dalmedico, "Writing the History of Dynamical Systems and Chaos : *Longue Durée* and Revolution, Disciplines and Cultures", *Historia Mathematica* 29, 2002, p. 273-339.
36. Nicolas Bourbaki, « Fondation of Mathematics for the Working Mathematician, » *Journal of Symbolic Logic,* 14, 1949, p. 1-8, citation à la p. 2.
37. Jean Dieudonné, *Pour l'honneur, op. cit.*, p. 29.
38. Cité par Didier Nordon, *Les Mathématiques pures,* op. cit., p. 59. Notons que la pensée de Godement évoluera par la suite de manière radicale. Ses articles parus dans la *Pensée* en 1978 et 1979 constituent un important travail de défrichage sur l'histoire des rapports entre scientifiques et militaires depuis 1945.
39. Le cas de la théorie des nombres qui sert en cryptologie est à cet égard significatifs. Voir David Aubin, « La science du secret débauche l'arithmétique », *Cahiers de Science et Vie,* n° 57 (juin 2000), p. 71-76.
40. Stephen Smale, « Personal Perspective on Mathematics and Mechanics », *Statistical Mechanics : New Concepts, New Problems, New Applications,* sous la dir. de S. A. Rice *et al.*, Chicago, 1972, p. 3-12 ; repr. in *The Mathematics of time,* 95-105 ; citation p. 95. Sur l'implication politique de Smale, voir Steve Batterson, *Stephen Smale : The Mathematician Who Broke the Dimensional Barrier*, American Mathematical Society, Providence, 2000.
41. Ralph Abraham, *On Morphodynamics : Selected Papers by Ralph Abraham on Models for Pattern Formation Processes, Morphogenesis, and Self-Organizing Systems Showing the Evolution of the Complex Dynamical System Concept over a Fifteen-Year Period,* Aerial Press, Santa Cruz, 1972, p. 1 et 12.
42. *Cf.* René Thom, « La science malgré tout... » *Encyclopaedia Universalis, Organum,* vol. 17 (1975), p. 5-10 ; et la critique de Jean-Marc Lévy-Leblond, « Des mathématiques catastrophiques », *Critique,* tome 33, n° 359, avril 1977, p. 430-441.
43. René Thom, « La responsabilité du mathématicien », cours public de la Sorbonne, ronéotypé, 11 pages.
44. René Thom, « La Théorie des catastrophes : état présent et perspective », Erci Christopher Zeeman, *Catastrophe Theory,* p. 372.



Jean Dieudonné, Armand Borel et Jean-Pierre Serre parmi les auditeurs d'un séminaire de l'IHES.



Robert Oppenheimer et Léon Motchane en 1959 lors de la conférence de presse inaugurant les locaux de l'Institut des hautes études scientifiques au Bois-Marie, à Bures-sur-Yvette."



Alexander Grothendieck animant un séminaire à l'IHES