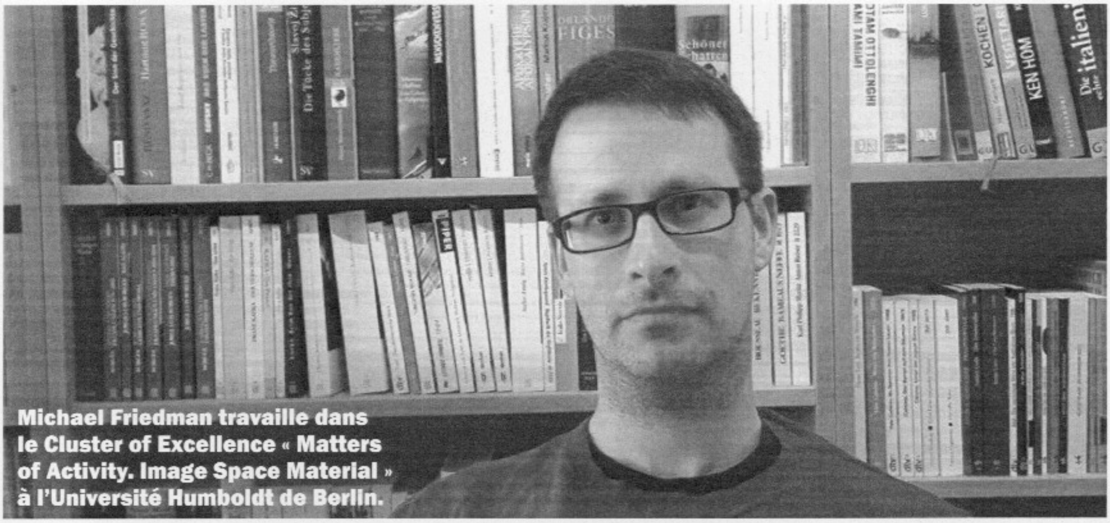

Michael Friedman travaille dans le Cluster of Excellence « Matters of Activity. Image Space Material » à l'Université Humboldt de Berlin.

© MICHAEL LORBER

Qu'est-ce que le pli(age) ?

Michael Friedman pourrait être la bonne personne pour répondre à cette question. Épistémologiste israélien et historien en mathématiques, il habite en Allemagne et a récemment publié un livre, *A History of Folding in Mathematics. Mathematizing the Margins* (Une Histoire du Pliage en Mathématiques. La Mathématique des Marges) (Birkhäuser, 2018). Au carrefour des mathématiques et de l'histoire des sciences, le livre aborde un problème qui a troublé tout autant les plieurs de papier que les scientifiques : qu'est-ce qu'un pli en fait et pourquoi a-t-il fallu si longtemps pour que les mathématiciens reconnaissent sa valeur dans les sciences ? Dans l'interview qui suit, menée par courriels, Friedman nous éclaire sur ces problèmes.

Parlez-nous de votre formation et de la façon dont vous vous êtes tourné vers le pliage, et plus précisément, vers l'histoire du pliage en mathématiques.

Après avoir terminé mon master en philosophie et mon doctorat en mathématiques, et faisant alors deux post-docs en mathématiques pures, le premier à Bonn, en Allemagne et le second à Grenoble, en France, j'ai été invité par le Pr Dr Wolfgang Schäffner à Berlin, pour être un post-doc à l'Institut interdisciplinaire « Image Knowledge Gestaltung », qui faisait partie de l'Université Humboldt de Berlin. J'y étais membre d'un groupe appelé « Science of Structures and 3-D Code ». La principale question que nous avons abordée – généralement formulée – était d'explorer comment des structures tridimensionnelles façonnent notre pensée à partir de divers points de vue, et si ces structures peuvent être pensées en termes de code, que ce soit en code numérique ou analogique[1] (le « code » de l'ADN, dont la structure spatiale à double hélice est essentiel, est un bon exemple pour cette conception).

On peut suggérer que les structures pliées se démarquent d'un simple code numérique qui peut être considéré comme unidimensionnel (c'est-à-dire comme associant une séquence de lettres à une autre séquence de lettres). L'un des objets dont nous avons discuté au début de notre recherche a été le problème du repliement des protéines, avec au cœur du sujet la question concernant la structure pliée tridimensionnelle des protéines et la formation de cette structure. À cette époque, j'ai également commencé à lire des livres et des articles d'Erik Demaine, Joseph O'Rourke et Thomas Hull, parmi d'autres, et j'ai remarqué que bien qu'il y ait une bonne description des

Albrecht Dürer, artiste et mathématicien de la Renaissance, a étudié la géométrie de la draperie qui retombe et a été le premier à présenter systématiquement les polyèdres dépliés dans l'histoire. La gravure « Melencolia I » (1514) montre un rhomboèdre tronqué, créé à l'époque où il étudiait les « assemblages », c'est-à-dire le résultat du dépliage d'un solide géométrique plaçant tous ses côtés dans un seul plan.
(Source : Wellcome Libray, Londres. « Melencolia I », d'après Albrecht Dürer. https://wellcomeimages.org (Œuvre protégée par le droit d'auteur disponible sous la licence Creative Commons Attribution seulement CC BY 4.0).

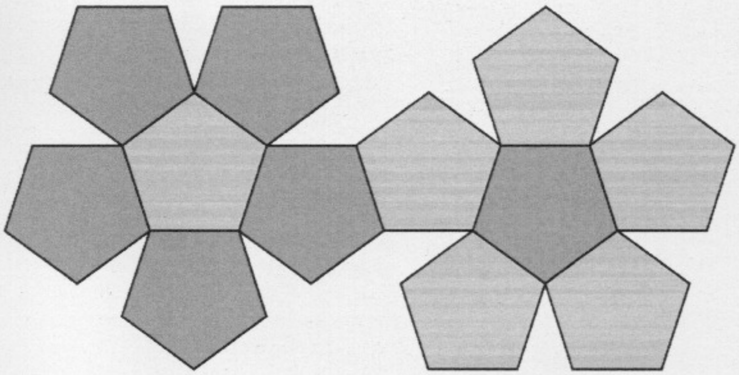
différentes approches concernant le problème du repliement des protéines dans l'histoire des sciences, lorsqu'il s'agissait de l'histoire des mathématiques en général et de l'histoire du pliage de papier mathématique en particulier, il n'y avait guère de compte rendu complet qui tienne compte des principaux acteurs, de leur motivation, de l'image des mathématiques qu'ils avaient et de leurs connexions possibles.

Bien sûr, Margherita Beloch Piazzolla était bien connue dans la communauté de pliage de papier mathématique, comme celle qui a démontré en 1934 que l'on peut construire un segment dont la longueur est la racine cubique de deux, un problème connu comme l'un des trois problèmes de Délos, qui ne peut pas être résolu avec une règle et un compas. De même Tandalem Sundara Row était bien connu pour son approche novatrice de pliage en mathématiques dans son livre écrit en 1893 *Geometric Exercises in Paper Folding*. On peut aussi nommer Albrecht Dürer, qui en 1525 pointait explicitement vers un usage systématique du pliage dans les mathématiques, utilisé pour plier les polyèdres (voir les schémas) ou pour inciter une (nouvelle) connaissance mathématique. Mais une étude systématique sur l'ensemble de ces mathématiciens (et beaucoup d'autres), n'était pas disponible. J'ai été frappé par le fait que non seulement il y avait une histoire à raconter dans l'histoire des mathématiques, mais aussi que l'on devait poser sérieusement une question historique et historiographique : pourquoi cette pratique et son histoire n'ont-elles pas été prises en compte (ou si peu prises en compte) ?

Ces deux questions – la marginalisation de cette pratique matérielle en mathématiques, ainsi que sa marginalisation dans l'histoire des mathématiques – m'ont fasciné. Ce qui m'a fasciné surtout est le fait que d'une part on avait depuis des siècles, au moins théoriquement, un matériau très simple pour la pratique des mathématiques, qui permet de construire aisément de magnifiques segments (c'est-à-dire la construction de Beloch), ce qu'une géométrie basée sur la règle et le compas était incapable de construire. Autrement dit, cette pratique matérielle était mathématiquement

« Les mathématiques (...) ne créent pas seulement de nouveaux domaines de connaissance. (...) On le constate dans un processus constant de transformation, y compris de ses propres objectifs, dans lequel cette transformation entraîne également la marginalisation de la connaissance. Le pli, et comment il a été conceptualisé dans les mathématiques, est un exemple d'une telle marginalisation. »

(A History of Folding in Mathematics, p. 4, par Michael Friedman).



Au début du XVI[e] siècle, Albrecht Dürer a introduit le pli en mathématiques comme une opération mathématique légitime pour représenter les solides de Platon et d'Archimède dépliés comme des « assemblages ». Cette image illustre un assemblage de dodécaèdre. (Représentation d'image par Júlio Reis - Dodécaèdre plat.png, fait par Cyp de makepolys. c par lui-même, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php? Curid=1272003)

épistémique[2], elle suscitait de nouveaux horizons de connaissance. D'autre part, la communauté mathématique en quelque sorte a à peine pris en compte cette connaissance, ce qui a fait que, ce n'est qu'en 1934, que Beloch en a découvert sa construction. C'est cette dissonance qui m'a incité à continuer mes recherches sur ce thème.

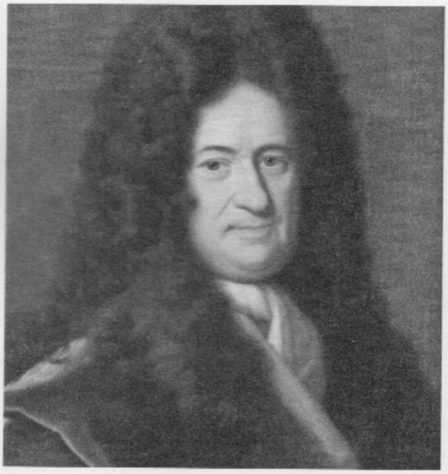
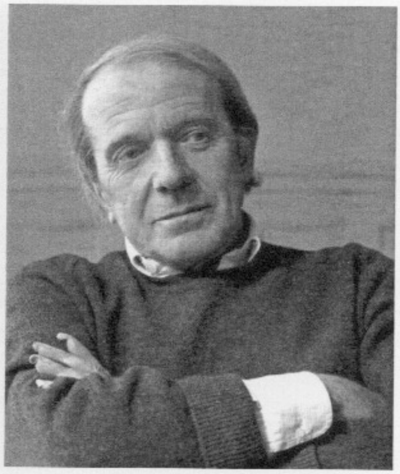
Qu'est-ce qu'un pli ? Est-ce une opération mathématique comme l'addition ou la multiplication ? Est-ce un élément géométrique, comme une tangente ou un angle ? Et est-il important de le codifier ?

C'est une excellente question. En supposant que nous abordions le pliage d'une feuille de papier, alors il faut tenir compte du fait que le pliage est une action *performative*, en ce sens qu'il finit par créer une trace, c'est-à-dire une ligne droite, qui s'appelle – une fois cette action terminée – un pli. C'est donc une opération, mais pas comme la multiplication, où les nombres, qui sont multipliés, sont déjà donnés, et on obtient finalement un nouveau nombre. Ici, on a seulement une feuille de papier, et le pli apparaît comme sorti de nulle part, et peut apparaître n'importe où. Avec la multiplication, il n'y a qu'un seul résultat, et ce résultat n'est certainement pas arbitraire... Il y a donc ici une étrange oscillation entre le caractère opératoire du pli et le caractère idéal de celui-ci (c'est-à-dire qu'il crée quelque chose d'idéal – la ligne), entre l'opération et ce que l'on obtient. Cette oscillation apparaît aussi quand on regarde des plis de draperie, qui ne laissent pas de marques sur le tissu. Pour donner un exemple, Dürer, au XVI[e] siècle, a essayé à quelques reprises d'esquisser une construction géométrique, quelque chose qui pourrait même ressembler à un échafaudage, soulignant la géométrie qui sous-tend les plis d'un tissu, mais il est clair que ses tentatives n'ont pas conduit à une théorie cohérente et complète.

Peut-être l'une des difficultés avec les plis d'un tissu, une difficulté qui pourrait être plus philosophique, est de déterminer quand un pli commence et quand il se termine. Une question se pose donc : par où commencer à mathématiser le tombé (draperie) du pli ? Je pense que cela peut aussi indiquer les difficultés de « coder » le pliage, c'est-à-dire trouver un système de notation « standard ». Pour revenir aux modèles de plis, composés de plis simples et droits, ce n'est qu'au cours du XX[e] siècle (!) que le système de notation standard a été accepté, en utilisant le système Yoshizawa complété par Randlett-Harbin. On peut aussi dire que codifier un canevas de plis signifie trouver des programmes informatiques tels que, lorsqu'on ébauche une figure tridimensionnelle, alors le programme informatique renvoie, comme résultat, un canevas de plis bidimensionnel et les instructions quant à la façon dont on doit plier afin d'obtenir de ce canevas de plis, l'objet tridimensionnel. C'est en fait le but du programme informatique TreeMaker de Robert J. Lang.

Vous semblez avoir trouvé un nouveau domaine de pensée, presque vierge. Pour quelqu'un immergé dans la philosophie de la science, trouver un champ comme celui-ci est comme tomber sur un diamant géant au milieu du désert. Personne ne semble l'avoir vu, ou s'ils l'ont vu, ils s'en sont détournés. Comment vous sentiez-vous quand vous avez commencé à étudier la philosophie du pliage ?

Rappelons que la philosophie du pliage a déjà été traitée par Gilles Deleuze en 1988, dans son livre *Le Pli : Leibniz et le Baroque* qui fut plus tard traduit en plusieurs langues. Donc, dans un sens, un cadre épistémologique possible était déjà offert. On peut donc suggérer que la communauté philosophique était déjà consciente de cette image de la pensée qui consistait à penser explicitement sur la matière et la pensée

Gottfried Leibniz (1646-1716) et Gilles Deleuze (1925-1995). Deleuze a jeté les bases de la philosophie du pli, fondée sur une lecture particulière des écrits de Leibniz. (Crédits photos : Leibniz : Christoph Bernhard Francke [Domaine public]; Gilles Deleuze : https://www.flickr.com/photos/speedypete/274083307)

comme intrinsèquement pliés et dépliés, et comme la lecture révolutionnaire par Deleuze des écrits de Leibniz le montre, cette image de pensée était certainement en nous, quoique parfois implicitement, depuis des siècles. Cependant, ce qui manquait, c'était une étude plus historique qui, en effet, comme vous l'avez indiqué à juste titre, était presque vierge. Si la pensée de Deleuze correspond à l'analyse historique, eh bien, c'est une bonne question, mais sa pensée fournit certainement des aperçus ; par exemple, selon Deleuze, le pli en tant qu'image philosophique peut être considéré comme ce qui indique un processus de métamorphose constante. C'est en fait ce qui caractérisait ce que je ressentais : avec un défi à relever, alors que j'essayais de voir quel est le cadre épistémologique qui est activé (ou désactivé) lorsqu'on considère le pliage comme pratique mathématique. Le principal défi était également pratique : trouver des mathématiciens et des chercheurs qui auraient effectivement employé cette pratique matérielle de pliage épistémique ou systématique[3]. Comme je l'ai mentionné, plusieurs des mathématiciens du début du XX[e] siècle étaient déjà connus (Row, Beloch), mais il fallait que je pose la question, par exemple, si la recherche a vraiment commencé avec le livre de Row, ou a-t-il été influencé par d'autres traditions, qui pourraient ne pas avoir été nécessairement mathématiques.

« L'étude de la mathématisation du pli est donc une étude de sa marginalisation, une étude de la façon dont le pli – jusqu'à la fin du XX[e] siècle – n'est pas devenu un objectif mathématique. »

(A History of Folding in Mathematics, p. 6, par Michael Friedman).

C'était en effet un défi, puisqu'au début de ma tâche, c'était en fait comme si j'essayais aussi de trouver des raisons concrètes pour lesquelles une certaine forme de raisonnement n'avait pas été choisie en mathématiques. Heureusement, j'ai réussi à trouver un certain nombre de mathématiciens qui appréciaient et utilisaient le pliage en mathématiques ! Mais leurs méthodes avaient été marginalisées, parfois même considérées comme n'étant pas assez mathématiques. Donc, dans un certain sens, je me suis senti désolé pour ces mathématiciens, parce que je racontais en fait une histoire de non-acceptation ou de rejet d'une technique qui s'est finalement avérée très puissante.

Néanmoins, cette étude a été extrêmement intéressante, car elle a montré qu'il ne fallait pas ignorer – de manière générale – la matérialité des pratiques mathématiques (c'est-à-dire le papier, dans le cas du pliage)[4], qui pourraient sembler sans importance : c'est-à-dire que la matérialité elle-même joue un rôle plus important qu'on ne le pense, même dans la conception commune des mathématiques comme étant abstraites et « immatérielles ».

Vous posez une question qui en a intrigué beaucoup pendant longtemps : pourquoi le pliage était-il (et est-il toujours) si rarement pris au sérieux ? Bien sûr, la réponse à cette question se trouve dans votre livre de plus de 400 pages. Mais à ceux qui n'ont pas eu l'occasion de le lire, pouvez-vous donner un indice sur ce que vous avez trouvé ?

Il y a plusieurs raisons, peu d'entre elles sont données par les mathématiciens comme s'ils les avaient évitées : le papier est « trop matériel »; plier des formes est un jeu d'enfants ou appartient au mieux aux mathématiques récréatives, et n'est pas quelque chose que les mathématiciens devraient considérer ; ou que les constructions mathématiques faites par pliage de papier sont trop compliquées pour les enfants ; ou que l'on ne peut rien prouver avec le pliage, mais seulement construire ; et bien sûr, que le papier est après tout éphémère.

Toutes ces raisons ont été mentionnées dans des articles, des livres ou même des récits historiques d'une manière ou d'une autre, et ont certainement fonctionné comme des obstacles pour que le pliage soit pris au sérieux.

Mais je crois qu'il y a aussi deux autres raisons, plus épistémologiques qui expliquent pourquoi cette pratique a été à peine considérée comme mathématique : il s'agit de la matérialité et de la conception de l'espace. Comme je l'ai mentionné plus haut, le pliage du papier est finalement une pratique matérielle. Et en tant que tel, il est clairement à l'opposé de l'image commune des mathématiques comme abstraites, dont les résultats ne dépendent pas de la matière ou de l'instrument. De plus, on n'a pas besoin d'un instrument du tout lorsque l'on plie : alors que pour tracer une ligne ou un cercle on a besoin d'une règle et d'un compas, pour plier on n'a besoin que du papier lui-même, et c'est tout. On peut donc observer ici l'émergence d'un non-instrument (le papier), qui donne néanmoins lieu à une ligne droite (le pli) – l'un des outils « idéaux » en géométrie plane.

L'autre raison concerne les conceptions de l'espace. De toute évidence, pour plier un papier, qui est (idéalement) bidimensionnel, il faut se mouvoir à travers un espace tridimensionnel. Cependant, le résultat final est encore une fois une formation de lignes unidimensionnelles (les plis) sur le plan bidimensionnel (le papier) ; l'intégration dans l'espace tridimensionnel et le mouvement dans celui-ci sont comme oubliés... On note ici déjà plusieurs conceptions de l'espace, qui sont tout à fait modernes : espace intégré, déformation d'objets, ou mouvement comme action légitime à l'intérieur de cet espace. Ces conceptions et opérations implicites n'ont pas toujours été acceptées comme légitimes en mathématiques, ce qui pourrait également expliquer pourquoi le pliage n'a même pas été mentionné dans l'antiquité comme une pratique mathématique (théorique) possible.

À part vous, qui d'autre étudie l'épistémologie du pliage et comment voyez-vous l'avenir de ce domaine de recherche ?

J'ai déjà mentionné Deleuze, donc ses disciples s'engagent certainement dans l'épistémologie du pliage. J'aimerais également mentionner deux recueils d'articles que j'ai co-édités : le premier, co-édité avec le Pr Dr Wolfgang Schäffner, *On Folding* (2016, Bielefeld : transcription). Le recueil montre, d'un point de vue interdisciplinaire, le grand potentiel de prendre le pli et le pliage comme une image de la pensée. Le second, co-édité avec le Dr Angelika Seppi, intitulé *Martin Heidegger : Die Falte der Sprache* (Martin Heidegger : Le pli du langage) (2017, Vienne : Turia + Kant), qui traite de l'image du pli dans la pensée du philosophe Martin Heidegger.

Je crois que l'avenir de ce domaine de recherche réside aussi dans l'examen d'autres pratiques matérielles employées en mathématiques. En tant qu'historien des mathématiques, je pense que le pliage nous montre comment ces pratiques devraient non seulement être prises au sérieux dans le cadre de la recherche mathématique, mais aussi comment les mathématiques interviennent dans la « vraie vie ». Mais de toute évidence, le pliage du papier n'est pas la seule pratique matérielle qu'on ait et qu'on a : le nouage, le tressage, la construction de modèles tridimensionnels de surfaces matériels (ou virtuels) sont autant de pratiques matérielles, qui au cours des siècles ont été soit mathématisées ou ont aidé à mieux comprendre et visualiser les concepts et objets mathématiques, et peuvent être considérées comme ouvrant de nouveaux horizons en mathématiques. Pour en revenir au pliage, je crois aussi qu'il faut se demander comment les derniers développements des mathématiques basées sur le pliage au XXI[e] siècle, avec l'origami computationnel par exemple, influencent notre conception de la matérialité, et comment il remodèle notre pensée concernant cette pratique.

Interview réalisée par Laura Rozenberg
Traduction : Chantal Prestat

1. Contrairement à la codification numérique (comme représentation ou symbolisation discrète de l'information, p.ex. le code Morse ou le système Braille), la codification analogique est une représentation continue de l'information codifiée rendue possible par un ensemble continu de valeurs (par exemple, signaux de tension).

2. Je suis ici la différenciation de Hans-Jörg Rheinberger entre les objets épistémiques et techniques. Selon Rheinberger, les objets épistémiques, contrairement aux objets techniques, incarnent ce que l'on ne sait pas encore, et provoquent l'émergence de nouvelles connaissances (contrairement aux objets techniques, qui fonctionnent comme si tout était déjà connu à leur sujet).

3. Par « systématique », j'entends le pliage qui a été utilisé comme une méthode explicite, qui n'a pas été utilisée qu'une seule fois ou de façon singulière, mais plutôt de façon explicite et établie, présentée comme une partie acceptable de la pratique mathématique qui l'a employée.

4. Par matérialité des pratiques mathématiques, j'entends non seulement le papier, mais aussi les modèles tridimensionnels, ainsi que les dessins, les esquisses et le script lui-même, qui sont tous des exemples de la façon dont les aspects matériels émergent des mathématiques.