



L'importance des questions éthiques en mathématiques

Ce texte est la traduction par Christian Kassel d'un article paru dans le n° 484 (septembre 2019) de la *Newsletter of the London Mathematical Society*.

- M. CHIDO
- T. CLIFTON

L'utilité des mathématiques tient aux applications que nous pouvons leur trouver. Leur impact sur notre monde pose néanmoins des questions éthiques. Plus que jamais il nous faut, nous mathématiciens, en être conscients car les mathématiciens, et nos étudiants, sont en train de transformer la société. Dans ce premier article nous expliquons pourquoi il convient de réfléchir aux aspects éthiques de nos activités mathématiques.

bien plus d'applications et présentent de ce fait bien plus de risques. Pourtant, on nous met peu en garde contre eux, alors que des disciplines comme le droit, la médecine, les sciences de l'ingénieur ont depuis longtemps réfléchi aux dangers inhérents à leur domaine. En tant que mathématiciens nous devrions, nous aussi, y réfléchir, sans quoi notre travail pourrait avoir des effets pernicioeux. Mais quels dangers les mathématiques peuvent-elles présenter ?

Les mathématiques et le monde extérieur

Notre science est l'une des plus abstraites de la connaissance humaine : les mathématiques sont la poursuite de la vérité absolue et font indiscutablement autorité. Les vérités absolues ont-elles un sens ? Si $2 + 3 = 5$ est une vérité absolue, que signifie-t-elle vraiment ? Son sens et son utilité apparaissent seulement lorsque ceux qui en comprennent l'énoncé le relient au monde physique. Ce sont les personnes formées aux mathématiques qui les interprètent et les appliquent au monde réel, en leur donnant sens et utilité.

Les mathématiques sont un des outils les plus utiles et les plus raffinés que l'on ait jamais développés. Un objet utile peut toutefois s'avérer dangereux, soit par un usage abusif, soit par l'ignorance des risques. Illustrons notre propos à l'aide d'un simple couteau ; pour nous en servir de manière responsable, il nous faut apprendre à connaître ses dangers potentiels, auprès de ceux notamment qui nous ont initiés à son usage. Si un outil aussi primitif qu'un couteau est à la fois utile et dangereux, que dire des mathématiques ? Ces dernières ont

Dans cet article nous porterons une attention particulière aux mathématiques fondamentales bien que nos arguments s'appliquent également aux mathématiques appliquées, à la statistique et à l'informatique. Certains d'entre nous sont motivés par la beauté et les qualités intrinsèques des mathématiques plutôt que par leurs applications à la science et à l'industrie. C'est comme si nous pratiquions une forme d'art abstrait, éloigné du monde réel et apprécié d'un petit nombre à sa juste valeur. Pourtant le gouvernement et l'industrie rémunèrent notre travail ; nous nous doutons bien qu'ils ne le font pas simplement pour stimuler notre esprit. Si notre travail était totalement abstrait – une forme d'art, en quelque sorte –, ne devrions-nous pas chercher plutôt des financements auprès de ceux qui financent l'art abstrait ? En fait, ce qu'apprécient les institutions scientifiques et l'industrie, ce ne sont pas seulement nos résultats mathématiques, mais aussi les compétences des mathématiciens que nous formons. Nos mathématiques ont un impact positif et nos étudiants, une fois formés, sont opérationnels. Si notre travail est financé pour son apport manifeste, il nous faut chercher à savoir précisément pourquoi.

La communauté mathématique a eu de nombreuses discussions déjà sur des questions éthiques. En général ces discussions ne portent que sur des problèmes internes à la communauté. Nous les connaissons bien : comment améliorer la diversité et l'inclusion, comment développer l'intérêt pour les mathématiques, comment régler les cas de plagiat et réagir aux manquements en matière de publications ? Ce sont des questions importantes et chaque discipline s'occupe de questions éthiques *intrinsèques* de ce type. Ce n'est pas le propos de notre article. Les mathématiques font partie de ce petit nombre de disciplines qui oublient de s'attaquer aux questions éthiques *extrinsèques*, celles qui concernent l'impact de notre science sur la société. Ceci inclut les implications éthiques des applications des mathématiques et de notre travail. C'est la conscience de ces questions éthiques extrinsèques que nous essayons d'éveiller. Nous pensons que les mathématiciens, loin de le faire délibérément, ont du mal à accepter l'existence de questions éthiques extrinsèques. En effet, si la plupart de ceux que nous avons rencontrés refusent d'agir de manière non éthique, bien peu admettent que l'activité mathématique *puisse* avoir des effets discutables.

Études de cas

Étant entendu que les mathématiques sont utiles en raison de leurs applications et que ces dernières posent des questions éthiques extrinsèques, examinons deux exemples concrets : la crise financière mondiale de 2007-2008 et le ciblage en marketing.

Cette crise financière est un événement qui a fortement marqué l'économie mondiale moderne. Ses répercussions se sont fait sentir dans le monde entier et beaucoup de gens ont vu leur niveau de vie décliner. Bien que les causes de la crise soient complexes, il y a un consensus sur le fait que les mathématiques y ont joué un rôle décisif. L'utilisation abusive de titres de créance collatéralisés¹ (TCC) a été un facteur important de la crise. À l'origine, des mathématiciens ont réuni un grand nombre d'actifs rapportant des intérêts (principalement des prêts hypothécaires) pour les débiter et les écouler en produits rémunérateurs. Du point de vue mathématique, ces produits représentaient un risque global moindre, donc une valeur plus élevée que les actifs d'origine. Ils ont été échangés sans contrôle.

Leur fabrication repose sur des mathématiques hautement non triviales, nécessitant calcul stochastique, équations différentielles, etc. Des chercheurs ont déduit des travaux de Black et Scholes, plus tard de Li, un modèle et une formule de tarification pour les TCC. Bien que des connaissances approfondies en mathématiques aient été nécessaires pour construire ces modèles, une compréhension plus basique (de niveau licence) suffisait pour les appliquer et les échanger. En conséquence, les utilisateurs de ces modèles ont pu en méconnaître les limites et le fonctionnement interne. La plupart des utilisateurs s'en contentèrent car les modèles leur paraissaient validés mathématiquement, de manière exacte et indiscutable. Malheureusement, certaines des hypothèses n'étaient pas les bonnes. C'est ainsi que le modèle supposait l'absence de dépendance de queue dans le risque de crédit des actifs ; pourtant cette dépendance existe, par exemple quand deux maisons hypothéquées se trouvent dans la même rue. Au bout du compte on n'a pas évalué correctement les risques, et lorsque le prix des logements a baissé, il en est résulté une dépréciation de 700 milliards de dollars de TCC entre 2007 et 2008. On connaît la suite.

Notre second exemple est la publicité ciblée. Les annonces publicitaires ont toujours été conçues pour attirer l'œil du public. Cependant, depuis que l'on dispose d'appareils mobiles reliés à internet et de comptes sur les réseaux sociaux, il est possible de cibler les annonces au niveau individuel. On peut de nos jours adapter celles-ci à des données démographiques spécifiques, et l'on peut même sélectionner un groupe de consommateurs qui *ne verront pas* une publicité donnée. Ceci engendre des campagnes publicitaires sélectives, contenant des annonces contradictoires et indétectables. Bref, la publicité peut désormais manipuler les individus, ce qui est particulièrement dangereux lorsqu'il s'agit de publicité politique. Les grandes bases de données obtenues à partir des réseaux sociaux permettent de reconstruire le profil politique d'un individu. L'outil utilisé est essentiellement l'apprentissage automatique (*machine learning*). Là ce sont des gens avec une formation mathématique qui sont à l'œuvre [1]. Des annonces publicitaires, neutres en apparence, peuvent être trompeuses. On peut par exemple envoyer une publicité du type « voter est important ; n'oubliez pas d'aller voter » uniquement aux sympathisants présumés d'un parti donné.

1. En anglais, *collateralised debt obligations*. (N.D.T.).

Quelle que soit la stratégie adoptée, ce type de publicité est de plus en plus répandu; certains estiment que cette tactique a pu être utilisée pour tenter de fausser l'élection présidentielle américaine de 2016 et le référendum sur le retrait du Royaume-Uni de l'Union européenne. C'est bien nous les mathématiciens qui rendons ces abus possibles. *Cambridge Analytica*, l'une des entreprises soupçonnées d'être impliquées dans ce genre de publicité, disposait d'une petite équipe d'une centaine de spécialistes des données [3], dont des mathématiciens. De quelque bord politique que l'on soit, on peut s'accorder sur le fait que ce genre de travail, bénéficiant de l'aide de mathématiciens, est malhonnête et dangereux. Ce sont bien des mathématiciens qui participent à ce ciblage et le mettent en œuvre.

L'impact des mathématiciens

Plus que jamais le travail des mathématiciens a des conséquences inédites, immédiates et de grande portée grâce à internet et aux capacités de calcul rapide facilement disponibles. Un mathématicien travaillant dans une grande entreprise de technologie peut modifier un algorithme, puis le déployer presque immédiatement sur une base d'utilisateurs pouvant compter plusieurs milliards de personnes. Même à petite échelle, on voit que l'action d'un petit nombre de mathématiciens aux ressources limitées peut avoir un impact mondial considérable; la publicité ciblée en fournit un exemple.

Si nous modélisons un système physique comme la gravité, notre modèle est réfutable. Si notre modèle ne traduit pas exactement le système physique, par exemple pour le lancement d'une fusée, il échouera. Nous saurons que notre modèle est bon si notre fusée arrive à se poser sur la Lune et à revenir sur la Terre. La modélisation d'un système financier est plus difficile à réaliser car l'utilisation même du modèle affecte le système. Si un algorithme de tarification est utilisé à grande échelle pour acheter ou vendre un produit, il influence le marché du produit en question. Comment un modèle peut-il modéliser son propre impact?

Si nous modélisons le comportement futur d'un individu poursuivi par la justice, pourrions-nous déterminer s'il risque ou non de récidiver dans les

vingt-quatre mois? Pouvons-nous nous appuyer sur cette modélisation pour décider de la manière de poursuivre cet individu et de fixer sa peine²? Si nous prédisons qu'il récidivera dans les vingt-quatre mois et qu'il ne le fait pas (après avoir été libéré ou acquitté), nous pouvons vérifier si notre algorithme est correct. Si au contraire il a été condamné à vingt-cinq mois de prison après un processus judiciaire fondé sur notre prédiction, comment vérifier la validité de notre algorithme? Nous avons là un problème éthique sérieux: nous appliquons un raisonnement mathématique à des personnes pour prendre des décisions qui ont un impact sur leur vie, et nous ne pourrions souvent pas savoir si les décisions prises étaient appropriées. Est-il moral d'utiliser ainsi les mathématiques sans une réflexion approfondie?

Nous sommes face à un dilemme éthique. Devons-nous nous contenter d'affirmations réfutables, ou pouvons-nous risquer des affirmations, des décisions et des actions impossibles à réfuter? Dans ce dernier cas nous aurons manifestement perdu toute certitude mathématique, ce qui nous impose d'ouvrir notre réflexion et notre formation aux questions sociales.

Nos inquiétudes pour le futur

Que se profile-t-il à l'horizon des mathématiciens? Suffira-t-il de consulter la liste de cas déjà répertoriés comme ci-dessus pour en éviter les écueils? Malheureusement non; chaque jour de nouvelles avancées en mathématiques engendrent de nouveaux problèmes éthiques. Prenons l'exemple de l'évaluation des risques-clients³. On voit émerger des entreprises sans accès aux ensembles de données standard (documents financiers, historique de paiement des factures, etc.) dont disposent les agences d'évaluation des risques-clients reconnues. Faute de mieux, ces nouvelles agences utilisent des profils de réseaux sociaux, allant parfois jusqu'à solliciter un accès complet aux comptes hébergés sur les réseaux sociaux [4]. La plupart des personnes concernées refuseront ces demandes d'accès, mais pour certains l'obtention d'un crédit est vitale. Ce nouveau type d'agence fouille les réseaux sociaux utilisés par le candidat au crédit, recherchant des opérations qui

2. La police de Durham a développé un outil d'évaluation des risques délictueux (The Harm Assessment Risk Tool) qui utilise l'apprentissage par arbre de décision. Il est employé pour décider si l'on peut proposer à un prévenu d'intégrer le programme *Checkpoint* (tinyurl.com/y4vxrd77) qui vise à réduire la récidive et offre une alternative aux poursuites pénales.

3. En anglais, *credit scoring*. (N.D.T.).

selon elles reflètent sa solvabilité. Cette intrusion peut inclure les sites visités par le candidat, ses heures de sommeil, la « qualité » de ses amis, etc. Une telle approche n'est pas réfutable, n'est pas réglémentée et elle peut très bien causer un préjudice social, car l'octroi de crédit est un des mécanismes permettant la mobilité au sein de la société. Si un tel processus, rendu possible par des experts formés en mathématiques, peut avoir un impact négatif, qui en sera tenu responsable? En fin de compte, il nous faut vivre dans le monde que nous et nos étudiants créons, et dans lequel nous pourrions devoir rendre des comptes.

Les questions éthiques concernent-elles le monde universitaire?

Voyons si les mathématiciens travaillant dans les universités sont concernés par les problèmes éthiques. Prenons un mathématicien « pur », disons un théoricien des nombres, et supposons qu'il développe un algorithme de factorisation rapide des entiers. Doit-il le publier? Si oui, quand, où et comment? Si non, que doit-il faire? Nous avons posé ces questions à de nombreux mathématiciens. La réponse typique a été : « Je le rendrai immédiatement public sur arXiv. C'est mon droit de publier mon travail mathématique, quel qu'il soit. » Lorsque l'on insiste sur les conséquences de la publication d'un tel algorithme – par exemple, casser le chiffrement RSA entraînerait l'effondrement du commerce sur internet, donc de l'économie mondiale – l'un d'eux nous a répondu : « Eh bien, c'est leur faute s'ils utilisent RSA. Ce n'est pas mon problème. » Bien sûr, une divulgation responsable est un sujet compliqué qui est vivement débattu par les chercheurs en sécurité de l'information. Mais cet exemple montre bien comment les questions éthiques s'insinuent dans le monde du chercheur en mathématiques fondamentales.

Si un domaine aussi abstrait que la théorie des nombres n'est pas « à l'abri » de considérations éthiques, qu'en sera-t-il des autres? Un mathématicien « pur » peut-il échapper aux problèmes éthiques? Et un statisticien, un mathématicien appliqué? Ces problèmes ne se posent-ils pas à tous les mathématiciens, quel que soit leur domaine?

Pourquoi l'administration ne peut nous guider

Certains mathématiciens (à l'université ou dans l'industrie) n'étant pas directement concernés par les applications, ils pensent pouvoir ignorer les implications éthiques extrinsèques de leurs recherches. Après tout, nous ne faisons que des mathématiques, ce qui nous permet de penser que « ce n'est pas notre problème ». Cette conviction va généralement de pair avec l'idée qu'il existe des garde-fous (administration, gestionnaires, comités consultatifs, etc.) pour nous prémunir contre toute dérive non éthique de notre travail. *Nous* travaillons sur des problèmes abstraits; *eux* s'occupent des problèmes éthiques. Mais pouvons-nous compter sur eux pour le faire efficacement? Vont-ils vérifier notre travail pour s'assurer que son utilisation est conforme aux valeurs de la société? Un gestionnaire aura du mal à saisir l'ensemble de notre travail mathématique et à comprendre les limites de ses applications, n'ayant par la nature même de sa fonction qu'une connaissance partielle de notre travail. Il n'y aurait d'ailleurs aucun intérêt à ce qu'un gestionnaire reproduise le travail de tous ceux dont il a la charge, et les mathématiques sont telles que celui qui n'en est pas l'auteur a peu de chances de les comprendre. Pour ces raisons, un mathématicien devrait toujours prendre en compte lui-même les implications éthiques de son activité. Il faut aussi garder à l'esprit que les gestionnaires ont d'autres objectifs que nous, davantage dictés par les priorités de leur institution que par celles de la société.

Certains gestionnaires pourraient même tenter de nous manipuler en opposant par exemple à nos objections l'argument classique : « si tu ne le fais pas, quelqu'un d'autre le fera ». À première vue, cet argument est imparable; on peut cependant y apporter deux objections. D'une part, il n'y a pas tant de mathématiciens que cela dans le monde. Nous possédons un ensemble d'aptitudes et de compétences uniques, et il faut des années de formation pour produire un bon mathématicien. Compte tenu de la relative rareté des mathématiciens, l'argument ne tient pas la route. D'autre part, la contraposée de l'énoncé précédent est « si personne d'autre ne le fait, c'est toi qui le feras ». Ce qui sous-tend cet argument absurde est l'hypothèse implicite que la tâche demandée sera menée à son terme. Si personne ne fabrique d'arme nucléaire, est-ce à moi de le faire? Ce qu'ici nous devrions vraiment examiner

de plus près, c'est l'argument « si tu ne le fais pas, quelqu'un d'autre *pourrait* le faire ». Certes, mais il se peut que ce quelqu'un ne soit pas facile à trouver, ou n'existe pas. Le mathématicien dispose alors d'une objection pertinente. Qu'on adopte l'objection pragmatique du petit nombre de mathématiciens ou celle, logique, de la contraposée, les deux ont du sens. Certains mathématiciens vont plus loin en prenant la décision de s'asseoir à la table du pouvoir dans l'intention d'obtenir des changements positifs au niveau managérial, que ce soit dans les universités, dans l'industrie ou même en politique. Ce moyen d'action est traité en détail dans [2] sous l'appellation « le troisième niveau de l'engagement éthique ».

Pourquoi la loi ne peut nous guider

Le problème ne se réduit pas au domaine de la gestion. C'est également de la loi qu'on pourrait attendre une description claire de ce qui est acceptable ou non pour la société, donc de ce qui est éthique ou non. Il n'en est rien. En effet, la loi n'est pas un système axiomatisé; elle est interprétée par les tribunaux, non par des machines. C'est un type de système dont les rouages ne sont en général pas familiers aux mathématiciens. De plus, la loi sera toujours à la traîne du développement technologique; nous ne pouvons pas espérer que le législateur soit en avance sur nous, d'autant que l'élaboration des lois est (délibérément) lente car elle nécessite des consultations publiques, des votes et des périodes de mise en œuvre. Prenons le cas au Royaume-Uni du Règlement général sur la protection des données⁴. Mis en route en 2011, il n'est entré en vigueur qu'en 2018, et beaucoup le considèrent déjà comme dépassé. Il se peut enfin que les législateurs n'aient pas une entière compréhension du sujet. C'est ainsi que Stephen Metcalfe, membre du *UK Science and Technology Select Committee*, a déclaré lors d'une séance de sensibilisation du public : « Une solution au biais des algorithmes est d'utiliser des algorithmes pour vérifier les algorithmes et d'utiliser des algorithmes pour vérifier les données d'apprentissage ». Pour conclure, la loi n'est pas là pour servir d'appui moral : on peut commettre des actes immoraux sans enfreindre la loi. Ainsi, on ne peut y puiser de conseils en matière éthique.

Si nous ne pouvons compter sur les gestionnaires, ni sur les législateurs, sur qui alors ? La ré-

ponse est aussi évidente que difficile à admettre : sur nous-mêmes. La seule façon d'éviter que notre travail ne soit utilisé à des fins dommageables est d'y réfléchir nous-mêmes. Personne ne peut le faire à notre place.

Une conscience éthique qui se développe en mathématiques

L'idée que les mathématiciens doivent réfléchir aux problèmes éthiques extrinsèques se répand dans la communauté. En 2018 à l'occasion d'une table ronde, le professeur Mike Giles, directeur du Département de mathématiques d'Oxford, a fait le commentaire suivant : « L'affaire *Cambridge Analytica* est intéressante du fait que si, il y a vingt ans, vous m'aviez posé la question de former les doctorants en mathématiques aux questions éthiques, j'aurais dit : "C'est hors de propos pour les mathématiciens". Aujourd'hui je suis d'un avis opposé. De même que les ingénieurs ont des cours sur ce que signifie être un ingénieur professionnel et sur les responsabilités des ingénieurs, je pense que nous les mathématiciens devons désormais réfléchir à ces questions. » Signalons aussi que *arxiv.org* est actuellement en train de réviser la rubrique *History and Overview* et d'y inclure une sous-rubrique intitulée *Ethics in Mathematics*.

Peu de mathématiciens ont entendu parler d'éthique extrinsèque au cours de leur formation. Les générations antérieures de mathématiciens ont étudié ces questions cruciales, et ce faisant n'ont pas rendu service à la société. C'est aux générations actuelles et futures de reprendre le flambeau avant qu'il ne soit trop tard.

Il a toujours fallu aux mathématiciens une ou plusieurs générations pour adopter une idée nouvelle concernant la nature des mathématiques; songeons aux débats sur la légitimité du zéro comme nombre. Nous sommes à un point de jonction similaire. On pourrait dire « il ne sert à rien d'examiner les questions éthiques en mathématiques », mais le jour où nos étudiants seront devenus professeurs ou cadres dirigeants, ils pourraient bien dire « c'est évident, il faut réfléchir à ces questions ! » Pourquoi la communauté mathématique ne s'est-elle emparée plus tôt de ces questions ? Pourquoi des personnalités comme Gödel et Russell ne l'ont-elles fait il y a cent ans déjà ? Deux explications nous viennent à l'esprit. D'une part, les dangers étaient éloignés car

4. En anglais, *General Data Protection Regulation*. (N.D.T.)

la technologie actuelle n'existait en grande partie pas ; d'autre part, les étudiants de licence avaient des cours de philosophie dans leur formation universitaire. Il était donc moins urgent de les former à l'éthique en mathématiques en tant que telle.

Puisque l'éthique est devenue aussi importante pour les mathématiciens, il se pose la question de savoir comment l'enseigner de manière utile sans

imposer de passer un diplôme de philosophie. Dans des disciplines comme le droit, la médecine et l'ingénierie on enseigne depuis longtemps aux étudiants de licence l'éthique extrinsèque relevant de leurs domaines respectifs. Dans l'article qui suit, nous chercherons à comprendre pourquoi un tel enseignement n'a pas encore été mis en place en mathématiques et comment on pourrait y remédier.

Références

- [1] « Cambridge Analytica : how did it turn clicks into votes ». *The Guardian* 6 (2018). URL : <https://www.theguardian.com/news/2018/may/06/cambridge-analytica-how-turn-clicks-into-votes-christopher-wylie>.
- [2] M. CHIODO et P. BURSILL-HALL. « Four levels of ethical engagement ». *Ethics in Mathematics Discussion Papers* 1 (2018). URL : https://www.ethics.maths.cam.ac.uk/assets/dp/18_1.pdf.
- [3] « Secrets of Silicon Valley : The Persuasion Machine, BBC documentary » (2017). (voir l'enregistrement à la minute 30 :17).
- [4] *Systems and methods for using online social footprint for affecting lending performance and credit scoring*. US Patent 8,694,401. Avr. 2014.



Maurice CHIODO

université de Cambridge
mcc56@cam.ac.uk

Maurice Chiodo est post-doc à l'université de Cambridge. Il dirige le projet *Cambridge University Ethics in Mathematics* (ethics.maths.cam.ac.uk) et développe un programme destiné à enseigner aux mathématiciens les implications éthiques de leurs travaux.



Toby CLIFTON

Cambridge University Ethics in Mathematics Society
cmtc3@cam.ac.uk

Toby Clifton est diplômé en astrophysique. Il préside actuellement la *Cambridge University Ethics in Mathematics Society* (cueims.soc.srcf.net).

Les auteurs tiennent à remercier Piers Bursill-Hall et Dennis Müller pour les discussions utiles qu'ils ont eues avec eux au cours des dernières années, tout particulièrement Dennis pour les suggestions et les commentaires qu'il a faits sur les versions antérieures de l'article.