

Archives ouvertes et réseaux collaboratifs en mathématiques

Laurent Guillopé¹

Un blog est parfois considéré comme la transposition au XXI^e siècle du salon des Lumières : un texte d'accueil, des commentaires qui y répondent, se contredisent, s'invectivent voire s'égarer. Dans son blog *La république des livres*, Pierre Assouline s'interroge le 30 septembre 2009 sur *Comment écrire l'histoire aujourd'hui ?* Il y réfléchit sur la crise de l'édition savante, ses difficultés économiques et ses évolutions éditoriales avec la remise en cause des index et notes, du désintérêt des éditeurs et des lecteurs pour ces travaux d'érudition, de l'émergence de l'internet. Il écrit en particulier :

La mort universitaire de la grande thèse a réglé son sort en librairie. Ce type de travaux, qui, de toute façon, n'était pas destiné au grand public, rencontrera ses vrais lecteurs, durablement et mondialement, lorsqu'un portail spécialisé aura l'heureuse idée de les mettre en ligne en téléchargement payant fût-ce chapitre par chapitre.

Une heure après, le cinquième billetiste indique qu'un tel portail existe déjà pour les *thèses scientifiques* (comme si il pouvait y avoir des thèses non scientifiques !) : c'est le portail TEL², initié dès 2001 par l'équipe du CCSD (Centre pour la communication scientifique directe, Lyon, CNRS), qui contient à l'automne 2009 environ 15 000 mémoires de thèses de doctorat ou d'habilitations à diriger des recherches, en accès sans restriction aucune et où le dépôt est volontaire (assuré en général par le docteur même). Treize heures plus tard, le soixante-sixième billet corrige cette observation en précisant que ce portail héberge les thèses de *tous* les domaines de la connaissance, avec 88 thèses cataloguées en histoire ; une heure après (il est minuit vingt-et-une) et trois contributeurs plus tard, un message aussi court que les notes précédentes indique le titre de la dernière thèse déposée: *Sodome à Paris : protohistoire de l'homosexualité masculine fin XVIII^e - milieu XIX^e siècle*. Près de 300 commentaires ont répondu à l'article de P. Assouline.

Cet exemple d'un blog actif et très visible nous permet d'introduire les archives ouvertes et les nouveaux outils collaboratifs offerts par l'internet, des dispositifs complémentaires et aux caractères opposés (provisoire et durable, instantané et pérenne, éphémère et patrimonial), participant à l'avancée des connaissances et leur transmission. Dans quelle mesure représentent-ils une rupture dans les pratiques cognitives ?

L'apparition de l'internet bouscule l'espace spatio-temporel de la recherche par une accélération radicale de la diffusion des savoirs et un accroissement de l'ubiquité de ses accès, modifiant même les processus de l'activité scientifique. Ces changements profonds affectent toutes les disciplines scientifiques, suivant des modes différenciés. On se restreint ici à quelques éclairages sur la recherche mathématique en considérant deux évolutions importantes : la création de dépôts de documents numériques consultables sans restriction d'une part, l'apparition de nouveaux types d'actions collaboratives d'autre part. Pour un mathématicien contemporain, qu'il soit doctorant, chercheur confirmé ou récipiendaire du prix Abel, l'usage des archives ouvertes, que ce soit en dépôt et consultation, est désormais banal et très partagé, alors que les blogs et autres outils contributifs restent aujourd'hui en état balbutiant : que l'intensité des usages s'inversent dans d'autres

¹ Laboratoire de mathématiques Jean Leray, Université de Nantes et CNRS, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex3, <http://www.math.sciences.univ-nantes.fr/~guillope/>.

² Cf. <http://tel.archives-ouvertes.org>, site associé à la plate-forme HAL : <http://hal.archives-ouvertes.org>. Dans la suite, on ne précisera pas en général l'adresse des sites internet cités qui sont facilement atteints via un moteur de recherche.

champs de la connaissance peut paraître paradoxal, gageons que les évolutions, guidées par la maîtrise des outils et leur adaptabilité aux besoins des chercheurs égaliseront les attitudes, en symbiose avec les pratiques de chaque communauté scientifique. Sans les développer, mentionnons que des changements importants sont à l'œuvre à tous les niveaux de l'activité des chercheurs : l'enseignement, les rapports avec le grand public et le débat sociétal, la recherche d'emploi, le calcul, la rédaction d'exposés,.....

La diffusion des travaux mathématiques : archives ouvertes, bibliothèques patrimoniales

Le système moderne des publications inauguré en 1665 par le *Journal des sçavans* à Paris et les *Philosophical transactions* à Londres a évolué progressivement jusqu'à la fin du XXe siècle, avec la professionnalisation des scientifiques et leur spécialisation, la globalisation internationale et l'émergence du numérique. Les mathématiques sont une science cumulative (un résultat utilise des concepts ou des théorèmes établis précédemment) caractérisée par la pérennité de son corpus validé (les éléments d'Euclide gardent aujourd'hui leur statut de fondements). Le rôle de l'écrit pour leur transmission est crucial, ce qui fait dire que la bibliothèque constitue le grand instrument de laboratoire pour les mathématiciens : leur corpus global, réseau complexe de références croisées, est essentiel pour la création scientifique contemporaine, que ce soit pour le développement interne aux mathématiques ou pour des collaborations avec d'autres disciplines scientifiques aux interfaces.

La situation contemporaine est l'aboutissement de transformations successives :

- la correspondance entre mathématiciens (comme Voltaire son contemporain du XVIIIe siècle, Euler a eu une correspondance importante avec ses collègues mathématiciens de toute l'Europe; Hachette créa en 1804 la *Correspondance scientifique de l'école polytechnique* au titre évocateur),
- la création de journaux entièrement dévolus aux mathématiques (les *Annales de mathématiques pures et appliquées* furent publiées par J.-D. Gergonne à Nîmes de 1810, suivi de la publication par L. Crelle du *Journal für die reine und angewandte Mathematik* à Berlin en 1825 et par J. Liouville du *Journal de mathématiques pures et appliquées* à Paris en 1836),
- la multiplication des journaux (600 revues sont aujourd'hui entièrement consacrées aux mathématiques),
- la création de l'archive ouverte arXiv en 1990 par des physiciens théoriciens, dépôt d'articles scientifiques ouvrant rapidement une section mathématique,
- la création de bibliothèques numériques en rétronumérisation (JSTOR en 1995, NUMDAM en 2003 pour en citer deux exemples emblématiques) ou nativement numériques (systématiquement à partir de 2000 chez tous les éditeurs).

La publication d'un travail mathématique signifie *in fine* une validation scientifique par des experts (comité de lecture, analyse critique par des spécialistes anonymes). Cependant, sa diffusion a débuté souvent par la circulation comme une prépublication (le *preprint*) : au XXe siècle, ce manuscrit était envoyé par l'auteur à ses correspondants ou de manière systématique entre laboratoires qui échangeaient des séries de prépublications par voie postale. Avec l'avènement du courrier électronique à la fin des années 80, puis du web en 1993, cette diffusion est assurée aujourd'hui par le dépôt dans des archives ouvertes : l'archive mondiale arXiv en physique et mathématiques notamment, l'archive omnidisciplinaire nationale HAL en France (qui entraîne le dépôt automatique sur arXiv pour les disciplines de cette archive), des archives institutionnelles d'établissements. En 2003, dix ans après l'initialisation d'arXiv, 5 600 articles mathématiques paraissaient sur arXiv : en 2009, plus de 16 000 articles y ont été déposés par des mathématiciens.

En mai 2010, arXiv contient toutes disciplines confondues plus de 600 000 *e-prints*, alors que l'archive HAL contient plus de 80 000 documents auto-archivés par leurs auteurs même.

Le délai entre la première diffusion d'un travail (marqué par son dépôt dans arXiv par ex.) et sa recension dans les bases de données bibliographiques mathématiques (les *Mathematical Reviews* américains et le *Zentralblatt-Math* européen) est souvent de 2 à 3 ans. C'est trop long pour les chercheurs : la communication scientifique directe à travers les archives ouvertes, bénéficiant de système d'alerte par mots clés et domaines spécialisés, est essentielle, complétée par des échanges directs ou des pages personnelles à la pérennité incertaine. Conjuguée à l'efficacité des moteurs de recherche, ces archives augmentent la visibilité, l'impact et la portée des travaux qu'elles contiennent : la première version soumise au public est enrichie des critiques et remplacée par des versions successives avant la version estampillée de la reconnaissance par les pairs et publiée par un journal, version pas nécessairement ultime. L'évolution de la volumétrie des articles déposés depuis 1993 (année de la création du web) révèle l'adhésion de la communauté mathématique mondiale à arXiv : le nombre total d'articles mathématiques annuellement publié dans des revues est estimé à 80 000, c'est donc 20% environ de ces articles qui sont disponibles dès l'achèvement de la première version sur arXiv, certains domaines comme la géométrie algébrique atteignant un pourcentage de l'ordre de 70-80%, proche sans doute de la saturation.

Ce mouvement de dépôts dans des archives touche tous les domaines du savoir : sciences de la nature, humanités, sciences sociales, sciences du vivant, informatique et sciences de l'ingénieur,... La plate forme d'archives ouvertes HAL est au service de toute la communauté scientifique française et au delà, elle est une incarnation caractéristique de cette communication scientifique directe et du libre accès tels que promus par la déclaration de Berlin (2003). L'accès aux résultats de la science en est facilité, notamment pour les scientifiques des pays en voie de développement touchés durement par les coûts prohibitifs d'abonnement imposés par de grands groupes éditoriaux et leurs financiers. Associée à l'archive TEL pour les thèses et mémoires d'habilitation (30% environ des soutenances annuelles), l'archive HAL coopère avec d'autres archives internationales thématiques en échangeant des documents et leurs métadonnées associées : arXiv pour la physique, les mathématiques, l'informatique, l'économie et la biologie quantitative, Pub Med pour les sciences bio-médicales, RePEc pour l'économie. La plate-forme HAL offre aux établissements (universités, organismes de recherche, agences de moyens, laboratoires) des vues partielles sur ses collections, vue incluant l'ensemble des publications issues des équipes de recherche qu'ils soutiennent : ces tranches de HAL réalisent une multitude de portails institutionnels pour des organismes de recherche des universités ou des laboratoires : ceux de l'INSERM, de l'Université de Nantes et du Laboratoire de mathématiques Jean Leray en sont des exemples caractéristiques. Cette base données omnidisciplinaire permet des recherches interdisciplinaires et donne accès à la littérature scientifique contemporaine sans condition d'accès économique, institutionnel ou de nationalité. Le soin mis à introduire les auteurs et leurs affiliations consolide le corpus : un document déposé par un auteur apparaît avec ses multiples auteurs, qu'ils soient dans la même équipe de recherche ou dispersés géographiquement. La croissance de l'usage (en dépôt et en consultation) devrait être analysée en terme des phénomènes statistiques de percolation : on estime à 15-20% la production scientifique française accessible en archives ouvertes, principalement sur l'archive HAL.

Notons que chaque dépôt est irrévocable, seulement amendable par un dépôt ultérieur. Ainsi, cette règle permet l'enregistrement d'une découverte, l'établissement d'une antériorité, avant la reconnaissance par les pairs des comités éditoriaux. Pensons rétrospectivement à Galilée qui, en 1610, crut avoir découvert des satellites (qu'il confondit avec les anneaux) pour Saturne grâce à son nouveau télescope et envoya un message codé à son ami Kepler et quelques autres

« *smaismrmilmepoetaleumibunenugttauras* ³ ». Il voulait ainsi établir l'antériorité de sa découverte, sans la révéler, ce qu'il fera 3 mois plus tard en indiquant l'anagramme de son message ⁴. Même si les brevets imposent des clauses de secret et des délais à la diffusion d'avancées technologiques, les scientifiques ⁵ souhaitent communément éviter les clauses de secret pour leurs recherches et leurs avancées de la connaissance, tout en ayant des dispositifs de reconnaissance de l'invention.

Par ailleurs, ce délai de 2-3 ans entre la première version et la publication de la recension est peu important en regard des échelles de temps de la publication en mathématiques : 50% des citations ont plus de 10 ans, 25% plus de 25 ans, les documents les plus cités dans les bibliographies sont pour 90% des livres. La vision d'une bibliothèque numérique cohérente et donnant accès à l'ensemble du patrimoine constitué par les publications mathématiques (articles et monographies) a été partagée au début du XXI^e siècle, par les mathématiciens : le corpus mathématique publié au cours de toute l'histoire est estimé à 3 millions de documents couvrant au plus 100 millions de pages et dont 50% ont été publiés depuis 1950. Ce projet de *World Digital Mathematical Library* [WDML] exigeait une coordination internationale entre les différents acteurs (groupes d'édition, sociétés savantes, libraires, mathématiciens) et l'acceptation de règles communes prônant des environnements ouverts et interopérables : il n'a pu se réaliser tant les modèles économiques (privé à but lucratif ou non, éditeurs universitaires, sociétés savantes,..), les types d'accès (service public ou abonnement restreint), les réalisations techniques (numérisation texte et/ou image, métadonnées riches) sont divers, voire contradictoires : pourtant, on estime que 15 millions de pages sont d'ores et déjà numérisées par des opérateurs publics, des fondations ou des entreprises à but lucratif. Réalisée avec le soutien du CNRS et du ministère français de la recherche, l'archive patrimoniale NUMDAM (pour *NUMérisation de Documents Anciens Mathématiques*) est reconnue mondialement comme la plus travaillée au plan technique et scientifique parmi les grandes bibliothèques numériques de documents mathématiques. En outre, NUMDAM incarne la mission de service public portée par les bibliothèques, celui assurant la préservation et l'accès libre au patrimoine culturel : en 2010, cette archive mettra à disposition près d'un million de pages couvrant une trentaine de revues et séminaires, avec un réseau dense de référencement croisés en interne et vers les bases bibliographiques majeures en mathématique. Soutenu par l'Union européenne, le projet EUDML ⁶ a pour objectif de concrétiser d'ici 2012 une WDML européenne en associant une douzaine d'organismes (pour la plupart publics) déjà engagés dans la réalisation de bibliothèques numériques de mathématiques.

³ Après rétablissement de l'ordre, on pouvait lire *altissimum planetam tergeminum observavi*, soit *J'ai observé la planète la plus élevée en forme triple*.

⁴ Kepler avait essayé de résoudre l'anagramme, en arrivant à une solution qu'il appela lui-même "vers latin barbare": *Salve umbistineum geminatum martia proles* soit *Santé, furieux gémeaux, fils de mars*. C'est ainsi que Kepler arriva à la conclusion que Galilée avait découvert deux satellites de Mars. L'extraordinaire, comme nous le savons aujourd'hui, est que Mars a en réalité deux satellites, dont l'existence était totalement ignorée par Kepler et par Galilée. Pour les distinguer il aurait fallu des télescopes plus puissants que ceux existant à l'époque (satellites ayant été découverts en 1877, 250 ans après).

Pareillement, Newton en 1677 utilisa une formule codée pour annoncer son invention du calcul différentiel à Leibniz : craignant que ce rival ne revendique également, et à juste titre, la découverte du calcul différentiel, Newton lui écrit une lettre dans laquelle il laisse un anagramme énigmatique : « 6a2cdae13e2f7i3l9n4o4q2r4s8t12ux », message finalement décrypté par les historiens des sciences : « *Data aequatione quocunque fluentes quantitae involvente fluxiones invenire et vice versa* », soit en français « *Étant donnée une équation mettant en jeu des variables, trouver ses dérivées, et vice versa* ».

⁵ Les tentatives de breveter des éléments génomiques ou des composants logiciels sont le fait de sociétés commerciales et autres entreprises financières.

⁶ *Démarrage du projet EuDML -- La bibliothèque numérique européenne de mathématiques*, Gazette des mathématiciens 124 (2010) 65-74.

Projets collaboratifs, blogs et réseaux contributifs

Un des parangons du projet collaboratif en mathématiques est donné par les *Éléments de mathématiques*, traité rédigé par le collectif Bourbaki qui eut une influence considérable dans le développement des mathématiques au cours de la seconde partie du XXe siècle. La classification des groupes finis simples est le fruit du travail cumulé d'une centaine de mathématiciens, aboutissant à la publication d'une dizaine de milliers de pages, dans 500 articles. Cependant, ces projets massivement contributifs sont assez rares, au contraire d'autres sciences comme les sciences de la vie où les articles comptent fréquemment entre 5 et 10 signatures, sans parler de la grande aventure du déchiffrement du génome ou des résultats d'expériences au CERN signés de plusieurs centaines de collaborateurs. Pour les articles en mathématiques, il est plutôt commun qu'ils ne soient signés que d'un ou deux auteurs. Des évolutions vers des collaborations plus nombreuses sont sensibles, rendues plus aisées par la rapidité et la facilité des échanges (voyages, mél, visio-conférences). La résolution de la conjecture de Poincaré est un cas typique où se coexistent posture solitaire et travail en équipes.

Cette conjecture, formulée en 1904, fut démontrée en effet par G. Perelman dans une série de trois prépublications déposées sur arXiv en 2003, travaux jamais soumis à un journal par leur auteur. Cette œuvre d'un seul, qui emprunta la voie tracée par les travaux de R. Hamilton sur le flot de Ricci, suscita la création de plusieurs équipes (États-Unis, Chine et France) pour analyser ces prépublications et assurer que la preuve était exacte : G. Perelman refusa en 2006 la médaille Fields que lui décerna l'Union mathématique internationale pour sa « *contribution to geometry and his revolutionary insights into the analytical and geometric structure of the Ricci flow* ». Si ces trois prépublications sont des exemples typiques de la diffusion des travaux mathématiques par l'archive arXiv, ils dérogent néanmoins aux règles canoniques, celles du dépôt accompagnant la soumission à une revue et l'examen par des rapporteurs anonymes, juges de la validité de l'article ou aides pour de meilleures formulations ou démonstrations. Néanmoins, la formation des groupes d'étude suite au dépôt de ces trois documents exceptionnels, constitua un véritable réseau d'experts qui conclurent trois ans plus tard à la bonne et entière validité de la preuve de Perelman. Aujourd'hui, nous avons plusieurs ouvrages développant avec tous les détails la preuve de Perelman, ouvrages issus de collaborations portées par le web.

La pression du *Publier ou périr*, ou sa version contemporaine *Être cité ou ne pas être*, incite à des publications à multiples auteurs. Pour dénoncer les dérives bibliométriques qui affectent toutes les disciplines et les procédures purement quantitatives prenant le pas sur les évaluations effectuées par les pairs, un groupe de 40 mathématiciens français co-écrivit en mai 2009 l'article *A explicit density estimate* (26 p., 70 références bibliographiques)⁷ : chaque signataire a réellement coopéré à l'élaboration des résultats contenus dans cet article qui, canular et sérieux, a été soumis à une revue internationale à comité de lecture. Assurément, les outils d'internet furent très utiles pour le développement de cette coopération!

De outils innovants offerts par internet (news,wiki, blog, fils rss,...) fournissent des environnements favorables aux discussions scientifiques et aux projets collaboratifs, complétant le cadre de partage des connaissances établi par les archives ouvertes. La partie mathématique de l'encyclopédie Wikipedia, paradigme du wiki, est substantielle : on pourra y consulter l'article sur Perelman

⁷ Cf. <http://www.math.u-bordeaux1.fr/~ricotta/protest.htm>. Les mots de remerciements valent d'être cités : « The authors express their deep thanks to the universities of Lyon I and to the astronomical center of Varsow; their fully irrational use of bibliometrical datas is one of the roots of this work . »

(précisant le bref paragraphe supra) ou celui sur les courbes elliptiques (excellente introduction à ce domaine avancé), dans leurs versions française et anglaise, tout en parcourant aussi leurs historiques qui conservent trace des diverses versions et des discussions accompagnant la maturation collective de ces entrées de l'encyclopédie.

Au contraire de bien d'autres domaines (pour la littérature, la chronique de P. Assouline⁸ dans sa *République des livres* en est un exemple), la blogsphère compte peu de blogs tenus activement par des mathématiciens : citons cependant par exemple ceux⁹ de T. Tao (UCLA, États-Unis), T. Gowers (Cambridge, Royaume Uni) et de C. Robert (Paris), dont les caractères différents sont représentatifs de la diversité de la blogsphère mathématique. Le blog de T. Tao est lié à divers projets collaboratifs, de nature classique (ses multiples collaborations en paires ou triades) ou totalement innovante (avec les projets Polymath).

La série *Polymath*¹⁰, appelant à une collaboration massive, a été initiée par T. Gowers, T. Tao s'y impliquant fortement rapidement. Elle est inspirée des grands projets collaboratifs de la programmation libre (système d'exploitation Linux, navigateur firefox, suite bureautique openoffice) ou de la connaissance (wikipedia) :

1. Le premier Polymath en mars 2009 a pour objectif de mettre au point une nouvelle démonstration d'un cas particulier du théorème de densité de Hales-Jewett, un résultat clé en combinatoire, en suivant une démarche proposée par T. Gowers. Près d'une trentaine de mathématiciens (des spécialistes du sujet pour la plupart) font une contribution notable au projet qui aboutit en six semaines au succès (inespéré) de deux nouvelles démonstrations différentes du théorème, l'une directement produite par le projet Polymath, la seconde en étant inspirée. Une autre branche du projet naît, qui donnera lieu un an plus tard à une publication signée de D. H. J. Polymath et acceptée dans une revue après examen par des rapporteurs anonymes.
2. Le second Polymath en août 2009 porte sur la résolution du dernier problème donné aux Olympiades de mathématiques de juillet : destiné à des jeunes, le problème n'exigeait pas de connaissances mathématiques autres qu'élémentaires, une grande ingéniosité était cependant attendue ! Les règles de participation posées par T. Tao sont assez strictes (ne pas aller fouiller dans la littérature, travailler en ligne, suivre le déroulement du polymath,...) afin de contrôler les différences entre les participants et créer les conditions d'un véritable travail collaboratif. T. Tao, qui a résolu le problème au bout de 7 heures de réflexion (discontinue), joue le rôle de modérateur. La première solution complète est publiée une trentaine d'heures après le démarrage du Polymath.
3. D'autres projets sont en cours. L'un d'entre eux vise un résultat tout nouveau : l'existence d'un algorithme déterministe construisant un nombre premier de K chiffres, avec complexité polynomiale en K . Rappelons le test de primalité de complexité polynomiale construit en 2002 par le groupe de trois mathématiciens indiens M. Agrawal, N. Kayal et N. Saxena : ce test, diablement ingénieux, reposait sur des mathématiques classiques. L'expert en nombres premiers qu'est T. Tao est confiant en la possibilité d'avancées substantielles par ce polymath sur ce problème qui est un véritable défi.

⁸ L'ouvrage *Brèves de blog, le nouvel âge de la conversation* (Les arènes, 2008) de P. Assouline est une anthologie des commentaires de ses billets, alors que les deux monographies *Structure and randomness : pages from year one of a mathematical blog* et *Poincaré's legacy : pages from year two of a mathematical blog* (American Mathematical Society, 2009) reprennent les notes du blog de T. Tao.

⁹ Cf. <http://terrytao.wordpress.com/>, <http://gowers.wordpress.com/> et <http://xianblog.wordpress.com/> resp.

¹⁰ Un *polymathe* est un individu aux connaissances variées et approfondies, en particulier des connaissances en art et science. On dit parfois « homme d'esprit universel ». Le mot provient du grec *polymathēs*, *πολυμαθής*, voulant dire « connaissant, comprenant ou ayant appris en quantité », des racines *πολυ-* pour « beaucoup » et *μαθ-* pour « apprentissage » [repris de wikipedia]. Cf. <http://michaelnielsen.org/polymath1>.

Cette série de projets Polymath vise clairement à un mode de création mathématique sans nul pareil. Ses règles contraintes tendent à mettre les participants à égalité, les contraindre à un regard d'Adam ou d'Ève face au problème mathématique et une véritable coopération. Cette égalité devant l'énigme mathématique est bien réelle, tout mathématicien sait bien l'étendue de son ignorance et a maint exemple de découvreurs inattendus. Le recueil de questions et réponses que fût l'*Intermédiaire des mathématiciens* (1894-1926) avait pour lecteurs et contributeurs autant des mathématiciens amateurs que des professionnels reconnus. Quels seront les collaborateurs des futurs projets Polymath, quelles avancées permettront-ils ?

Terminons par le site *Images des mathématiques*¹¹ : conduit par un groupe de rédaction très polycéphale (plus de soixante collaborateurs réguliers), ce site publie des billets (légers, introspectifs, ironiques, anecdotiques, voire décalés), des articles (emmenant le lecteur le long de pistes vertes, bleues, rouges ou noires), une revue de presse et un carnet, des notices biographiques, des images, des vidéos, des commentaires, le tout étant innervé de multiples liens hypertextes et de renvois internes au site et vers l'ensemble du web. Sa dynamique profite de la flexibilité du web pour mêler images, simulations, énoncés et preuves à dérouler. Avec une spontanéité contrôlée, ce site a pour but de renouer le dialogue entre mathématiques, mathématicien-ne-s (ou leurs images ?), scientifiques et grand public, qu'il soit étudiant, amateur, lycéen ou scientifique, de laisser court à des expressions et des points de vue absents des publications classiques, de montrer comme les mathématiques sont présentes, riches, diverses, étonnantes, actives et ouvertes. C'est un lieu de rendez-vous sans pareil pour aller à la rencontre des mathématiques du XXIe siècle et de leur écologie complexe.

Avancées et frustrations

La numérisation de grands corpus, l'accélération de la communication scientifique sont des grands succès des technologies de l'information des années récentes : ils induisent des évolutions notables dans l'activité scientifique, néanmoins suivant différentes échelles de temps. Les archives ouvertes constituent aujourd'hui un outil indispensable du mathématicien (qu'il soit doctorant ou médaille Fields) : ce n'est pas le cas encore dans certains autres domaines de la connaissance, pour des raisons économiques (le poids des industriels en chimie par ex.) ou de modes de travail (en sciences humaines et sociales). A l'opposé, les blogs mathématiques sont peu nombreux (le thé partagé ou les conférences spécialisées restent le mode préféré d'échange informel), alors que d'autres communautés scientifiques s'approprient plus les nouveaux outils du web collaboratif : par exemple, le site Hypothèses¹² accueille une grande diversité de *Carnets de recherche en sciences humaines* : Bibliographe des éditions françaises du XVIe siècle, Cinémarchives, Relire l'entre-deux-guerres, Femmes au travail, question de genre entre autres.

Malgré son omniprésence, le web recèle quelques lacunes. Ainsi, s'il y a communication de documents imprimables ou lisibles à l'écran, le tracé de symboles mathématiques enveloppés dans des phrases reste très contraint, avec nombre de contraintes et limitations : une adaptabilité insuffisante des symboles (comme celui de racine carrée : $\sqrt{-1}$ et $\sqrt{a+b}$) aux sous-formules ou aux variations de taille de la police du texte, une disponibilité partielle des polices étendues de caractères spéciaux, l'impossibilité de copier des formules du navigateur web dans un fichier (LaTeX bien sûr) et vice versa, aucune normalisation ni standard de la saisie des formules (même si l'extension mathml de xhtml est prometteuse, les outils d'écriture ne sont pas simples comme le

¹¹ Cf. <http://images.math.cnrs.fr>.

¹² Cf. <http://www.hypotheses.org>.

sont ceux pour écrire du texte ou confectionner des tableaux). Par ailleurs, la recherche textuelle a fait des progrès remarquables, cependant celle d'expressions mathématiques en est à ses premiers balbutiements, où le web sémantique a quelques problèmes simples à résoudre : parmi les pages sélectionnées par la requête de recherche de l'équation $x^n+y^n-z^n=0$, celles contenant l'équation $a^m+b^m=c^m$ doivent aussi apparaître ! Encore aujourd'hui, un tableau et ses craies restent, aux côtés des ordinateurs, un bel outil de travail pour le mathématicien.

L'avenir amendera ces frustrations. Mais, dès aujourd'hui, les archives ouvertes, sont des réservoirs de savoir, les sites collaboratifs des agora génératrices de connaissance. Utilisez-les pour en partager les ressources et les enrichir...

Bologne, le 30 octobre 2009 et Nantes, le 14 mai 2010