

Paris. Au petit matin du mardi, J2, l'ambiance sur le site est tout autre : les caméras de BFM-TV sont sur place. Le ministère de l'Intérieur s'est mobilisé et a déjà organisé une audio-conférence dans la nuit, questionnant les expertises proposées la veille : de quelle famille de Mercaptan s'agit-il ? Est-on vraiment sûr que du sulfure d'hydrogène ne risque pas d'être relâché ? Il demande alors à la Casu de nouvelles projections sur le danger de la substance, le périmètre concerné, l'évacuation potentielle de la population.

SCÉNARIO LE PLUS PESSIMISTE

Ce basculement est certes dû à l'évolution même de l'événement mais aussi à la façon dont cette évolution désorganise le travail des experts et remet en question l'ensemble des données sur lesquelles ils s'étaient entendus pour se représenter l'événement en cours. Il faut vite produire de nouvelles prédictions, dans l'urgence. Résultat, en fin de matinée de ce J2, la Casu propose une modélisation très majorante, c'est-à-dire qui considère le scénario le plus pessimiste : tout le soufre contenu dans la cuve serait intégralement et instantanément relâché sous forme de sulfure d'hydrogène. Ces résultats présentés en audio-conférence à 14 heures sont contestés par l'exploitant : surestimés et loin de la réalité, selon lui. La préfecture demande alors à l'ensemble des experts de s'accorder sur leurs hypothèses et sur un récit prédictif de l'accident, cohérent.

S'ouvre alors en fin de journée (de ce J2) une troisième phase, d'articulation : un moment d'échanges et de discussions entre tous les experts, qui sortent de leurs schémas organisationnels habituels. Par exemple, l'exploitant et la Casu échangent directement, sans cette fois-ci passer par l'intermédiaire d'un tiers (Dreal). Là, le temps de l'urgence est suspendu, ils prennent le temps de confronter les données de terrain et les hypothèses retenues pour les calculs (la Casu, la Dreal, mais aussi l'industriel). La hauteur du point de rejet passe de 13 à 16 mètres, on ne considère plus un rejet instantané, il est désormais calculé pour trois durées différentes (1 minute, 2 minutes et 5 minutes), etc. Ces dernières hypothèses conduisent à un récit prédictif de nouveau rassurant qui fait consensus chez les experts et qui s'étend aux décideurs. La zone dangereuse étant circonscrite au sein de l'usine, l'évacuation de la population est clairement exclue.

Cependant, cette solution qui clôt définitivement la question de l'évacuation ne règle pas les problèmes : tant que l'importante quantité de produit à l'origine de la fuite n'est pas traitée, les émanations gazeuses risquent de repartir. Que faut-il faire pour l'ensemble du territoire concerné, qu'attend-on, qu'espère-t-on ? C'est un quatrième moment clé. La réponse va venir d'un consensus des autorités préfectorale et ministérielle et s'est traduit par : « *Je veux zéro odeur dans la zone, je ne veux plus que ça sente !* ». À partir de-là, l'objectif clair étant de se prémunir des émanations de gaz odorant, l'expertise propose un changement de temporalité : plutôt que de traiter le problème de manière rapide, on donne la priorité à la définition d'un protocole dont la mise en œuvre prend du temps car il sera appliqué de nuit et par petite quantité à traiter à chaque fois, de manière à ne pas prendre le risque de gêner la population et ainsi de perturber l'ordre social à nouveau. L'exploitant devra gérer pendant plusieurs semaines sa cuve de produit dégradé, potentiellement très dangereux pour les opérateurs sur le site. Cependant, ce changement de temporalité permet d'entrevoir la sortie de crise.

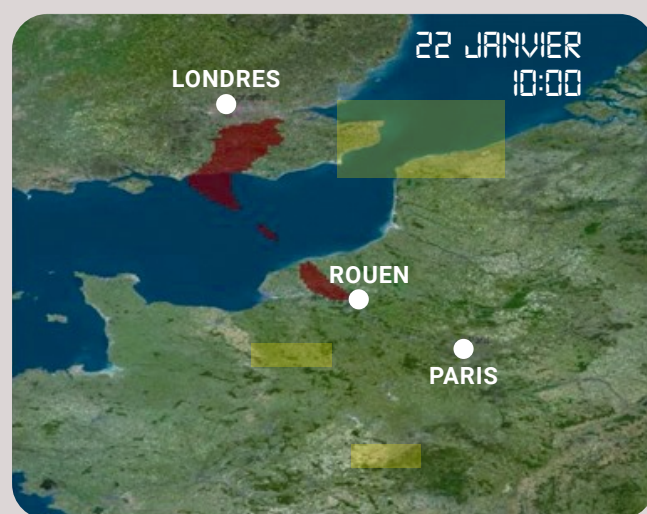
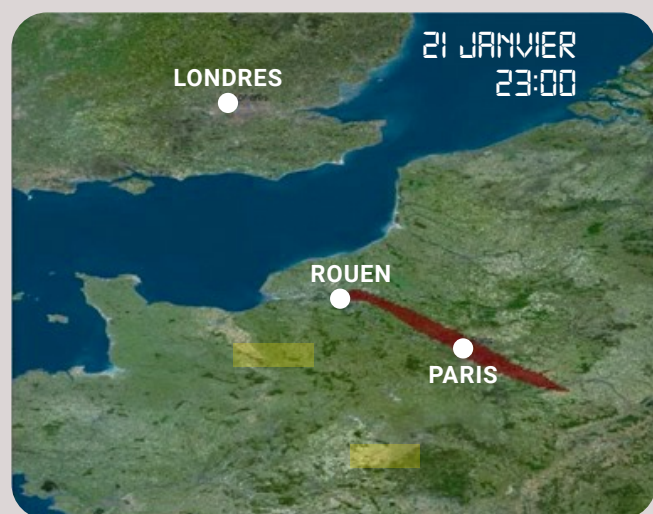
Un premier enseignement à tirer de ces résultats est l'intérêt d'utiliser ces différentes phases de l'expertise pour élargir l'éventail des solutions. Et sortir ainsi des scénarios binaires – du type évacuation contre non-évacuation – voire des clivages professionnels ou institutionnels. Il s'agit là pour l'IRSN d'une piste de réflexion intéressante qui pourrait enrichir les possibilités de concertation entre tous les acteurs concernés. L'analyse de la gestion de cette crise montre en effet que l'action conjointe des acteurs est primordiale pour faire émerger une solution bien ancrée dans le réel et en phase avec les attentes du territoire. ■

*SDIS : service départemental d'incendie et de secours

*Dreal : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

RÉFÉRENCES

> Expertise, décision et gestion de crise – Aux interfaces entre incertitudes et action, Rapport IRSN/2019-00685

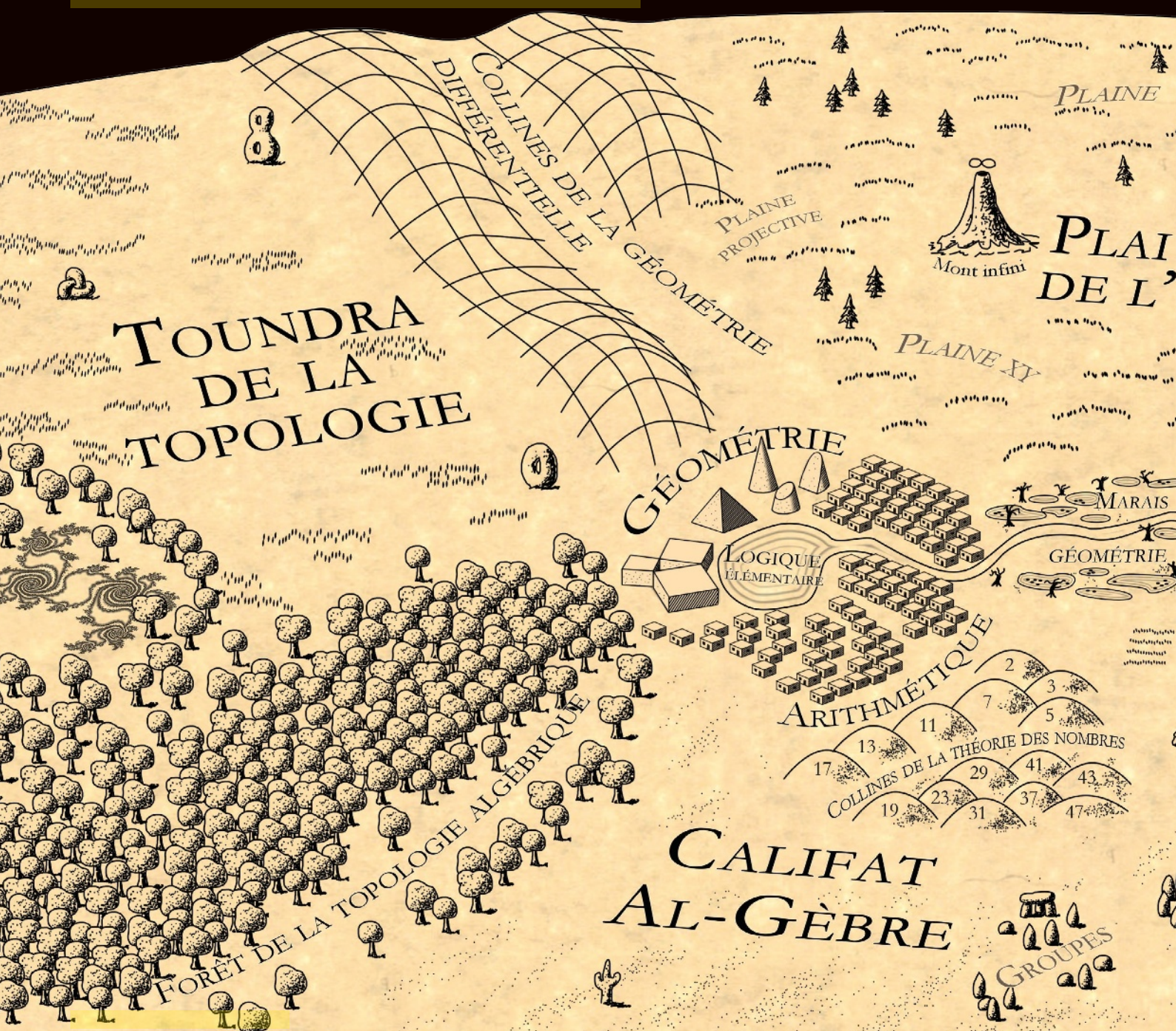


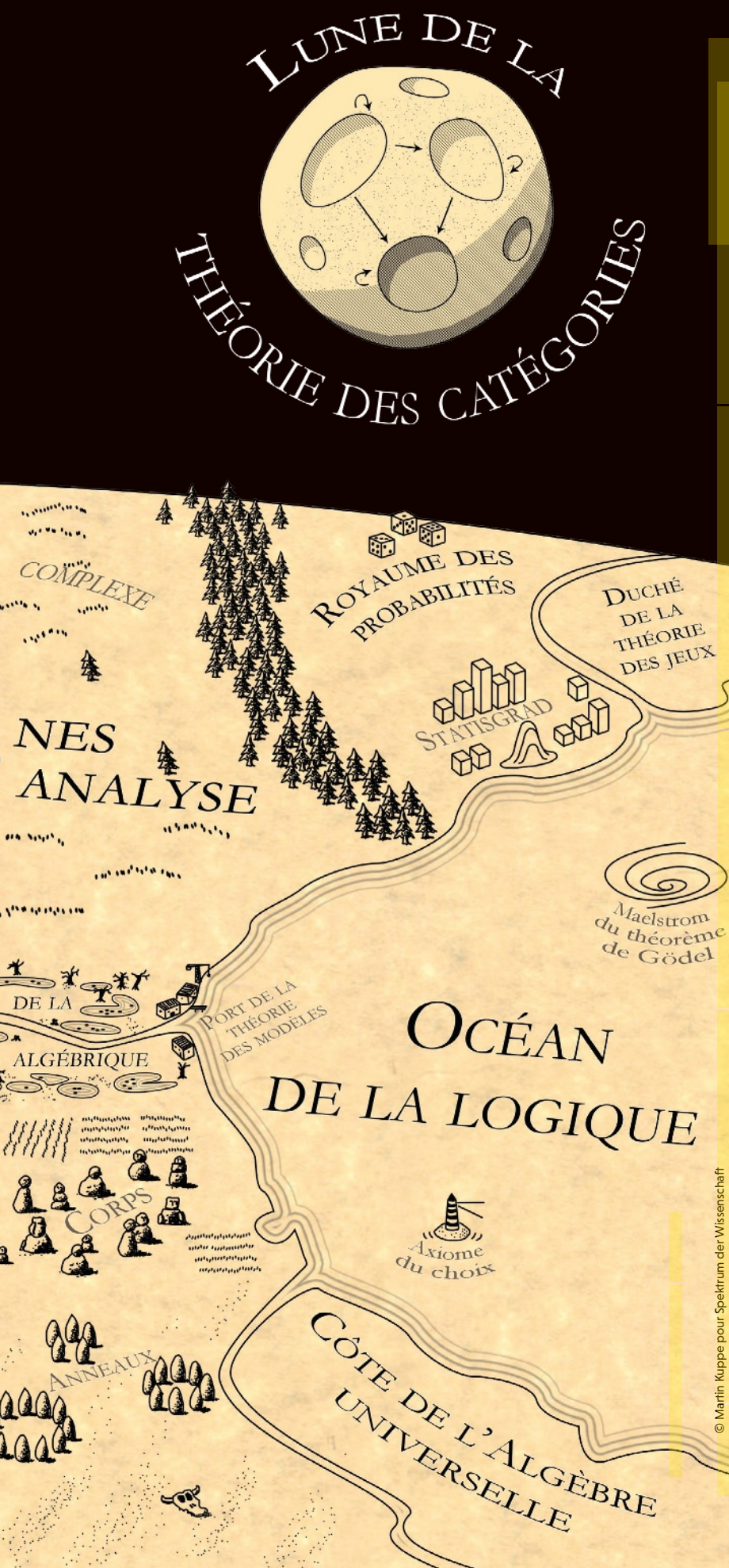
Théorie des catégories

Les maths à vol d'oiseau

Manon Bischoff

Née il y a environ quatre-vingts ans, la théorie des catégories a permis d'identifier des liens entre des objets mathématiques de natures différentes, d'où de grandes avancées. Depuis peu, elle s'ouvre à d'autres disciplines : la physique, l'informatique... et même la linguistique.





Comme dans un rêve, imaginez que vous volez au-dessus d'un monde imaginaire nommé Mathématistan. De ce point de vue privilégié, vous reconnaissez, à sa place relativement centrale, le royaume de l'arithmétique, où les nombres sont additionnés entre eux, multipliés, soustraits ou divisés. Juste à côté, vous distinguez les collines de la théorie des nombres, où habitent les nombres premiers et d'autres constructions étranges. Au sud s'étend le vaste califat de l'algèbre, où l'on manipule les nombres mais aussi d'autres objets plus compliqués, les matrices par exemple.

À cette altitude, les détails de chaque région sont un peu flous. Mais vous voyez les structures globales, les ponts et les domaines frontaliers qui connectent les différentes contrées. Par exemple, entre la toundra de la topologie et le califat de l'algèbre se dresse la forêt de la topologie algébrique. Dans ce coin du monde, les concepts des deux régions se rejoignent et s'unissent. Alors que les habitants de la toundra classent les objets géométriques en fonction, par exemple, du nombre de leurs trous, les topologues algébristes calculent ce nombre en utilisant des constructions algébriques telles que des fonctions ou des groupes.

De nombreux chercheurs rêvent d'accéder à cette vision globale du monde des mathématiques. Il y a encore quelques siècles, certains grands esprits universalistes étaient versés dans pratiquement tous les pans du savoir, qu'il s'agisse de philosophie, de physique ou de médecine. Leurs connaissances dans un domaine enrichissaient leurs réflexions dans les autres. C'est devenu impossible: un spécialiste de la théorie des nombres et un statisticien ont aujourd'hui du mal à se comprendre, et pourtant ils sont tous les deux mathématiciens!

Chaque domaine des mathématiques a développé ses outils, ses objets, son vocabulaire... Malgré cette tendance à la spécialisation et à la différenciation, les chercheurs dénichent parfois des similarités entre des structures appartenant à des domaines distincts. Grâce à ces découvertes et ces passerelles, ils peuvent par exemple transposer un problème d'analyse (domaine qui s'intéresse en particulier aux fonctions régulières) dans le langage de la théorie des nombres et exploiter les outils associés. Pour trouver ces ponts entre les différents domaines, il faut accepter de prendre de la hauteur et ne pas se perdre dans des détails spécifiques d'une sous-discipline. Cette démarche est exactement celle qui est mise en œuvre par la théorie des catégories.

«J'ai toujours été séduite par les moments de grâce qui surviennent quand on trouve le lien qui unit deux idées *a priori* très différentes», raconte la mathématicienne Tai-Danae Bradley,

L'ESSENTIEL

> La théorie des catégories offre une vision globale de différents domaines mathématiques. Elle y met ainsi en évidence des similitudes et des connexions jusque-là inconnues.

> Ce changement de point de vue a cependant l'inconvénient de gommer les détails de chaque domaine. Cette

approche ne fournit donc pas des résultats explicites, mais livre parfois des indices pour résoudre certains grands problèmes mathématiques.

> Des chercheurs d'autres disciplines se tournent vers cette théorie abstraite pour obtenir un nouvel éclairage sur leurs problèmes.

L'AUTRICE



MANON BISCHOFF

physicienne théoricienne de formation et rédactrice à *Spektrum der Wissenschaft*

de l'université de la ville de New York. J'étais donc très enthousiaste quand j'ai entendu parler pour la première fois d'une branche des mathématiques qui aide à formuler clairement cette approche globale.»

Ce changement de point de vue a aussi ses inconvénients. Les spécialistes de la théorie des catégories planent si haut qu'ils ne fournissent que rarement des résultats explicites: ils ne résoudront jamais une équation différentielle ni ne calculeront une intégrale. D'un autre côté, ils pourraient découvrir des chemins inconnus qui mèneront à la solution d'un problème bien concret. Mais pour implémenter cette solution, il faut à un moment revenir sur terre et effectuer le travail dans le domaine approprié.

UNE TRÈS GRANDE GÉNÉRALITÉ

À ses débuts, la théorie des catégories a été accueillie avec scepticisme. Les mathématiciens s'y réfèrent souvent, avec une certaine dose d'humour, à du «non-sens abstrait». Néanmoins, le fait que cette branche des mathématiques soit parfois très utile est aujourd'hui incontestable. De nombreuses avancées de ces dernières décennies auraient été impossibles sans son aide. Par ailleurs, si elle est considérée comme l'une des branches les plus abstraites des mathématiques, la théorie des catégories apparaît de plus en plus dans d'autres domaines de la science, par exemple en informatique et en linguistique, afin d'aborder leurs problèmes spécifiques sous un nouvel éclairage.

Si cette théorie s'adapte si bien à une grande diversité de disciplines, c'est parce que les catégories sont définies en des termes très généraux. Une catégorie consiste en une collection d'objets qui peuvent être transformés les uns dans les autres grâce à ce qu'on nomme des «morphismes» (voir la figure ci-contre). Un exemple de catégorie est celle où les objets sont les entiers naturels (0, 1, 2, ...) et les morphismes les fonctions f qui, à un entier n , associent un entier m . Un autre exemple est la catégorie où les objets sont les surfaces, les morphismes étant les transformations qui déforment une surface en une autre. Plus généralement, on peut voir une catégorie comme une collection de flèches

(morphismes) reliant différents points (objets). Peu importent les entités exactes désignées par les flèches et les objets: ce qui compte, c'est la façon dont elles sont connectées.

Il y a environ soixante-dix ans, cette approche a conduit à un changement drastique de paradigme. Dans le cadre de la théorie des ensembles, sur laquelle repose la quasi-totalité des mathématiques, les objets de chaque domaine sont définis avec précision. En théorie des catégories, à l'inverse, les entiers naturels et les formes géométriques peuvent se confondre, alors que la catégorie des nombres reliés par des fonctions continues est radicalement différente de la catégorie des nombres reliés par des fonctions dérivables. Ici, un objet est complètement défini par ses relations aux autres objets de sa catégorie – qu'il s'agisse d'un nombre, d'une surface ou d'un objet plus abstrait. Cela peut surprendre, mais l'idée n'est pas nouvelle: en physique, par exemple, on identifie une particule dans un collisionneur en la bombardant avec d'autres particules et en étudiant leurs interactions.

DES FLÈCHES ET DES POINTS

Une catégorie consiste en une collection d'objets $A, B, C, \dots$ (points rouges) et de transformations $f, g, h, \dots$ (flèches violettes), nommées «morphismes». Chaque morphisme f relie exactement deux objets ($f: A \rightarrow B$). En outre, pour chaque objet, il doit exister un morphisme ($1_A: A \rightarrow A$) nommé «identité de A ». Étant donnés deux morphismes $f: A \rightarrow B$ et $g: B \rightarrow C$, il existe une loi de composition telle que $g \circ f: A \rightarrow C$, comme si l'on exécutait les deux morphismes l'un après l'autre. Cette loi est associative, c'est-à-dire qu'on a: $h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f$.

