



LE ZÉRO : COMMENT CE HÉROS VENU D'ORIENT EST-IL ARRIVÉ EN OCCIDENT ?

Miriam R. Aczel^{1*}, Debra Aczel² et Marina Ville³

¹Centre de politique environnementale, Imperial College London, Londres, Royaume Uni

²Programme Terrascope, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, États Unis

³Département de Mathématiques, Université de Tours, Tours, France

Même si les Babyloniens, les Grecs et les Romains étaient capables d'effectuer des calculs remarquablement sophistiqués, le développement des mathématiques a été limité jusqu'à l'introduction du zéro. Dans cet article, nous expliquons pourquoi le zéro a été un progrès si important. Nous tentons de répondre à la question suivante : d'où vient le zéro et de quand date le concept de zéro ? Il existe des preuves solides pour conclure que le zéro a été inventé en Orient et qu'il est arrivé en Occident à partir de l'Inde ou d'une civilisation ayant des racines en Inde, comme celle du Cambodge. Cela signifie que le zéro n'est pas une invention grecque ou occidentale, comme les chercheurs l'ont longtemps pensé. Les mathématiques sont un merveilleux mystère : de nombreuses questions subsistent sur la manière dont le zéro s'est établi en Orient et sur la manière dont il s'est vraisemblablement propagé en Europe.

LE ZÉRO, UN HÉROS QUI TRAVAILLE DUR !

BABYLONE. Ville antique de Mésopotamie Située dans ce qui est aujourd'hui l'Irak. Elle a connu son apogée au VI^{ème} siècle av JC (capitale d'un empire dominant une bonne partie du Moyen Orient).

Imagine un instant ce que serait ta vie sans ce petit cercle qui représente le zéro !

Bien que nous considérons le zéro comme une évidence, il s'agit d'une invention relativement récente. Les **Babyloniens** et les Romains n'avaient pas de symbole distinct pour représenter le zéro, pas plus que les Grecs

MAYAS. Une des plus anciennes civilisations d'Amérique qui s'est étendue sur un territoire comprenant le sud du Mexique, le Guatemala, le Honduras, le Salvador et le Belize. Elle connaît son plus grand développement entre 2600 av. J.-C et le IXème siècle et s'éteint vers 1520.[ref](#)

SYSTÈME DE BASE 60 (SEXAGÉSIMAL). Système de numération ancien dont la base est la soixantaine. Ce système a été utilisé par les anciens Sumériens au troisième millénaire avant notre ère. Il a été transmis aux anciens Babyloniens et il est encore utilisé aujourd'hui, en particulier pour mesurer le temps.

SYSTÈME DE BASE 10 (DÉCIMAL). Notre système numérique actuel est un système en base 10, qui comporte 10 chiffres et utilise la position pour indiquer la valeur et une virgule décimale pour séparer les nombres entiers des fractions décimales.

ARISTOTE. Philosophe grec de l'Antiquité né en 384 et mort en 322 av. J.-C. Il avait des connaissances approfondies et variées en philosophie mais aussi en Sciences.

qui ne considéraient pas le « rien » comme un nombre. Les **Mayas**, qui vivaient en Amérique centrale, ont utilisé l'idée du zéro [1] dans leur système de calendrier mais, comme ils étaient isolés des autres peuples, leur zéro n'a pas dépassé les frontières de leur civilisation. Pour trouver l'origine du zéro, il faut chercher ailleurs.

Examinons les chiffres utilisés dans l'ancienne Babylone, où il existait un système mathématique sophistiqué il y a plus de 5 000 ans. Ce système a été développé et affiné à partir de systèmes d'écriture des nombres et de calculs encore plus anciens ! Nous savons beaucoup de choses sur le système babylonien, car les Babyloniens écrivaient sur des tablettes d'argile qui ont été préservées jusqu'à nos jours. Les Babyloniens étaient de bons mathématiciens et de bons astronomes ; ils utilisaient un **système en base 60** compliqué, plutôt que notre **système en base 10**. Dans les mathématiques modernes, nous utilisons encore la base 60 pour certaines activités. Pense par exemple à la façon dont nous mesurons le temps : 60 secondes dans une minute, 60 minutes dans une heure. Les Babyloniens, comme nous, utilisaient des positions (comme les unités, les dizaines, les centaines et les milliers que nous avons en base 10) pour représenter les nombres. Mais l'utilisation du système en base 60 compliquait considérablement les calculs et le repérage de la position de chaque chiffre. Dans le système en base 60 utilisé pour mesurer le temps, les « unités » sont représentées par les secondes, les « dizaines » par les minutes, et les « centaines » par les heures. Imagine que tu essaies de garder une trace des positions de tous ces chiffres sans un symbole comme le zéro pour marquer une colonne vide. Ce petit symbole pour représenter le zéro est très utile. Les Babyloniens ont finalement commencé à marquer la colonne vide par un espace, mais imagine à quel point il devait être facile d'oublier un espace dans des colonnes de chiffres. Avec leur système compliqué, les Babyloniens devaient s'appuyer sur le contexte pour comprendre la signification d'un nombre. Suppose que quelqu'un te dise que quelque chose coûte quatre cinquante. Si tu sais qu'il s'agit d'une crème glacée, tu comprendras qu'il s'agit de 4,50 dollars, plutôt que 450 dollars ; mais tu ne comprendras pas ce que représente quatre cinquante si tu ne connais pas le contexte.

Les Grecs connaissaient le concept du zéro, mais ils ne le considéraient pas comme un nombre ayant la même utilité en mathématiques que les nombres 1 à 9. Selon **Aristote**, il n'était pas possible de diviser par 0 et d'obtenir un résultat signifiant quelque chose. Le système grec était donc basé sur 9 chiffres, sans zéro.

Les Romains utilisaient des lettres et non des chiffres pour les calculs, ils n'avaient donc pas besoin d'un zéro pour tenir une position ou garder une colonne vide. Le système numérique romain était utilisé pour le commerce et les marchands n'avaient pas besoin de représenter le zéro par un symbole spécial. Ils utilisaient des tablettes de calcul (abaque) et leurs nombres ne servaient qu'à écrire les résultats. Cela ne signifie pas

qu'ils ne comprenaient pas le néant. Ils avaient un mot pour désigner le néant, mais pas de symbole.

SUPER ZÉRO !

Pourquoi s'intéresser au zéro ? Le zéro peut être utilisé comme une **marque de position** sans valeur propre, ou comme un nombre mathématique. Par exemple, lorsque nous nommons une année, comme 2019, chaque chiffre a une place bien définie. Nous appelons le zéro une marque de position, car il nous indique qu'il n'y a pas de centaines. Nous pouvons représenter notre système en base 10, par quatre colonnes désignant de droite à gauche : les unités (U), les dizaines (D), les centaines (C) et les milliers (M).

M	C	D	U
2	0	1	9

Ce 0 maintient en place, ou garde le rang, des chiffres qui l'entourent afin que nous sachions si le nombre écrit représente des milliers ou des centaines, et pour que nous comprenions sa valeur. Si on enlève cette marque de position, on ne sait plus très bien de quel nombre il s'agit.

Mais le zéro peut être plus qu'une marque de position. Le zéro indique également le point de séparation entre les nombres positifs et les nombres négatifs. Si nous comptons à rebours avec des **nombres entiers**, nous atteignons zéro. De même, si nous comptons à rebours avec des nombres négatifs, nous arrivons également à 0.

-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5 +6 +7 +8 +9 +10

Si l'on veut seulement compter et mesurer, on peut le faire sans le zéro. Mais sans zéro, les mathématiques avancées seraient impossibles : pas d'algèbre, pas de calculs. Et nous n'aurions pas d'ordinateurs, car les ordinateurs utilisent un **système en base 2** (ou binaire), ce qui signifie que les informations sont enregistrées et lues sous la forme d'une série de 0 et de 1.

QUI A INVENTÉ LE ZÉRO ?

Les Arabes du **Moyen Âge**, des siècles après la grande époque des mathématiques grecques, étaient à la fois de remarquables mathématiciens et d'importants transmetteurs des connaissances anciennes, y compris des mathématiques. Muhammad Ibn Musa al-Khwarizmi était un célèbre mathématicien, astronome et géographe persan qui a beaucoup contribué à notre compréhension moderne des mathématiques, en particulier dans les domaines de l'algèbre et de la trigonométrie. Son nom, Al-Khwarizmi, est devenu Algorithmi lorsqu'il a été traduit en latin. C'est de cette version latinisée de son nom qu'est né le mot algorithme, qui désigne l'ensemble des règles que nous suivons lorsque nous effectuons des calculs. Au début du IX^e siècle de notre ère, al-Khwarizmi était chef astronome et bibliothécaire de la célèbre Maison

MARQUE DE POSITION.

Un signe sans valeur propre, utilisé dans les décimales et les lignes numériques pour indiquer la valeur d'autres nombres.

NOMBRES ENTIERS. Les nombres non décimaux ou non fractionnaires, tels que 1, 2, 3 et plus.

SYSTÈME DE BASE 2 (BINAIRE). Système dans lequel les informations sont exprimées par des combinaisons des chiffres 0 et 1.

MOYEN ÂGE. Période de l'histoire européenne allant de la chute de l'Empire romain en Occident (vers 1100) à la chute de Constantinople (1453).

de la Sagesse à Bagdad, où il étudiait des manuscrits scientifiques et mathématiques, notamment ceux des Grecs et des Hindous de l'Antiquité.

Dans son ouvrage sur les nombres indiens, Al-Khwarizmi décrit un système de numération hindou, ou indien, basé sur 10 chiffres : 1-9, et 0. Il dit qu'il a découvert ce zéro en traduisant les travaux mathématiques du savant indien Brahmagupta, datant du VII^e siècle de notre ère. Ce système utile a été rapidement adopté par le monde arabe.

LE ZÉRO FAIT UN LONG VOYAGE VERS L'EUROPE

Au Moyen Âge, les Européens utilisaient encore les chiffres romains pour faire des affaires. Mais les routes commerciales ne se contentaient pas d'acheminer des soies et des épices de l'Est vers l'Ouest : elles transmettaient également des connaissances. Fibonacci, le fils d'un marchand italien, voyageait souvent pour les affaires de son père. En Afrique du Nord, il a découvert que les commerçants arabes utilisaient un système de comptabilité basé sur 10 chiffres, 1-9 + 0. Il a rapidement compris que ce système pourrait améliorer la tenue des livres et la comptabilité en Europe. En 1202, il publie un livre intitulé *Liber Abaci*, qui diffuse l'idée de ce nouveau système de numération comportant un zéro « pour conserver les rangées ». Le livre traite des applications pratiques du système : comment convertir une monnaie en une autre, calculer les profits et les pertes, et d'autres besoins commerciaux importants [2].

LA RECHERCHE DE L'ORIGINE DE ZÉRO S'ÉTEND DE L'INDE AU CAMBODGE

Georges Cœdès a une vingtaine d'années lorsqu'il visite la collection du Proche-Orient au Louvre, le célèbre musée parisien près duquel il vit. Il est intrigué par une inscription babylonienne ancienne exposée dans une vitrine. Cette expérience de jeunesse l'a conduit à étudier les langues anciennes et à passer sa vie à découvrir les mystères anciens contenus dans les inscriptions d'Asie du Sud-Est.

Cœdès avait une théorie intrigante. Il pensait que les chiffres étaient nés dans des civilisations d'Asie qui partageaient une culture commune fondée sur les religions du bouddhisme ou de l'hindouisme. D'autres savants de cette époque supposaient que les chiffres devaient provenir de Grèce ou d'Arabie, mais Cœdès estimait que cette croyance ne tenait pas compte des développements intellectuels de l'Orient. À ce stade, Cœdès ne disposait d'aucune preuve de sa théorie. C'est au cours de ses travaux, qu'il trouve une inscription non traduite sur une stèle, qu'il appelle K-127, provenant d'un ancien temple de Sambor sur le Mékong au Cambodge. En traduisant l'inscription, il a été stupéfait de découvrir qu'elle contenait l'insaisissable zéro qu'il avait espéré trouver ! (Figures 1 et 2).

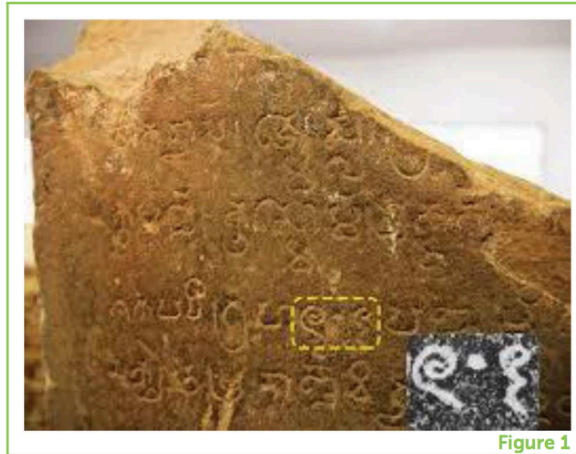


Figure 1

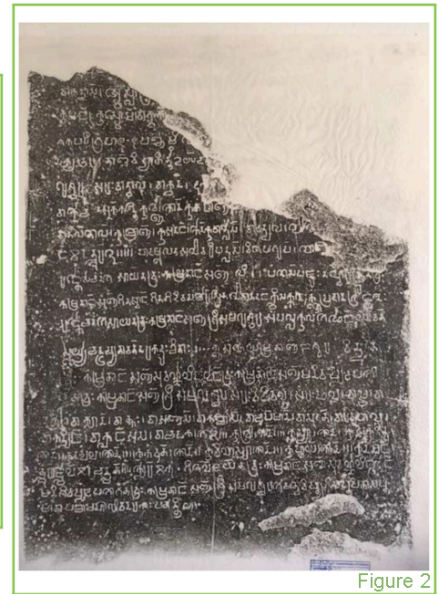


Figure 2

Figure 1. Photo de la stèle K-127 dont l'inscription a été traduite par Coëdès, et agrandissement de la date montrant que le zéro était représenté par un point. Crédit photo : Amir D. Aczel

Figure 2. Frottage de la stèle K-127 réalisé par le Musée national du Cambodge en 2015. L'inscription sur la stèle K-127 trouvée au Cambodge contient l'un des plus anciens zéros connus.

L'inscription décrit les transactions d'un marchand et comporte une date avec un zéro (un zéro de position) représenté par un petit point ! La personne qui a gravé l'inscription a indiqué la date : 605 de l'ère çaka. La conversion de la date çaka dans notre propre système de calendrier n'a pas été difficile. Coëdès savait que le premier roi de l'ère çaka avait commencé son règne en l'an 78. En ajoutant 78 aux 605 de la pierre, il savait que l'inscription avait été faite en l'an 683 de notre ère. Coëdès avait sa preuve, qu'il publia dans un article scientifique en 1931 [3]. Ce zéro trouvé au Cambodge avait été gravé avant les travaux des mathématiciens arabes. Cette première découverte a montré que le zéro nous est parvenu depuis l'Orient et que son invention est probablement asiatique [4].

UN NOUVEAU REBONDISSEMENT DANS LA THÉORIE DES NOMBRES

Environ 40 ans avant que Coëdès ne traduise la stèle K-127, un manuscrit écrit sur de l'écorce de bouleau, appelé Manuscrit de Bakhshali, a été trouvé à Bakhshali, dans l'actuel Pakistan. Ce texte contenait un ancien zéro représenté par un petit cercle. L'âge de ce zéro n'est pas connu, mais certains experts estiment qu'il est très ancien. Contrairement à la stèle K-127, ce manuscrit ne comportait pas de date dans le texte et il était donc difficile de déterminer quand il avait été écrit. De plus, les spécialistes pensent que certaines parties du manuscrit ont été écrites à des moments différents. Aujourd'hui, le Manuscrit de Bakhshali se trouve à la bibliothèque Bodleian de l'Université d'Oxford.

DATATION AU CARBONE

14. Méthode scientifique utilisée pour déterminer l'âge d'un objet à partir d'un isotope radioactif du carbone.

En 2017 [5], la bibliothèque a autorisé le prélèvement de petits fragments d'écorce en vue d'une **datation au carbone 14**. Les résultats indiquent qu'un de ces fragments date du troisième ou du quatrième siècle. Si c'est le cas, le Manuscrit de Bakhshali est plus ancien que la stèle K-127, et plus ancien que toutes les inscriptions contenant un zéro découvertes à ce jour. Toutefois, certains experts ne sont pas convaincus. Leur argument est que les fragments utilisés pour les tests ne contenaient pas d'écriture. Par ailleurs, comme on croit que les pages du manuscrit ont été écrites à différentes époques, cela pose un problème. Les scientifiques espèrent que la bibliothèque Bodleian effectuera d'autres tests sur d'autres parties du manuscrit.

FIN DE L'HISTOIRE ?

Mais de nombreuses questions subsistent : quelle est la précision de la méthode de datation utilisée pour le manuscrit ? D'autres zéros plus anciens seront-ils découverts ? Enfin, comment l'idée du zéro est-elle passée de l'Inde au Cambodge et à l'Indonésie, puis comment s'est-elle répandue dans le reste du monde ? Les informations que nous avons suggèrent que le zéro que nous utilisons aujourd'hui est né en Asie du Sud. Nous espérons que les futurs historiens des mathématiques apporteront d'autres pièces à ce puzzle fascinant.

Pourquoi une civilisation indienne aurait-elle inventé le zéro ? Contrairement aux Grecs qui pensaient que le zéro n'était rien, le néant était très important dans certaines religions orientales, notamment le bouddhisme et l'hindouisme. La religion et la philosophie indiennes recèlent peut-être un indice. Quoiqu'il en soit, les mathématiques, et les nombres, posent de nombreuses questions qui ne demandent qu'à être explorées.

RÉFÉRENCES

1. Ifra G. 1994. Histoire universelle des chiffres. Edition Robert Lafont
2. Walker Publishing Co. 2011. The Man of Numbers: Fibonacci's Arithmetic Revolution. London: Walker Publishing Co.
3. Coedès, G. 1931. A propos de l'origine des chiffres arabes. Bull. School Orient. Stud. 6:323–8.
4. Coedès, G. 1968. The Indianized States of Southeast Asia. Honolulu, HI: University of Hawaii Press.
5. Oxford University News. 2017. Earliest Recorded Use of Zero Is Centuries Older Than First Thought. Available online at: <http://www.ox.ac.uk/news/2017-09-14-earliest-recorded-use-zero-centuries-older-first-thought>

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec des modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi:

10.3389/frym.2019.00128 ; Aczel M, Aczel D and Ville M (2019) Hero From the East: How Zero Came to the West. *Front. Young Minds.* 7:128).

TRADUCTION : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Ula Hibner, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTORS SCIENTIFIQUES : Catherine Braun-Breton et Ula Hibner

JEUNES EXAMINATEURS :

Ces jeunes ont participé à l'édition d'articles dans le cadre du Club Sciences animé par deux enseignantes dynamiques, dévouées et inspirantes, Marina Tang et Cathy Dufour.

ANNABELLE, 11 ANS

Je m'appelle Annabelle et je suis en 6ème. J'ai adoré lire les articles, les explorer et les corriger. Faire ce travail avec mes copines a été passionnant.

CHLOÉ, 11 ANS

Je suis en classe de sixième au collège Ambrussum. J'adore lire, écrire, et le handball. J'ai trois chats ! Mes matières préférées sont la Musique et le Français. J'aime être au calme et réfléchir. J'adore le Club Sciences car on y lit et y apprend des choses très intéressantes.

LINA, 11 ANS

Bonjour, je m'appelle Lina et je suis en classe de sixième. J'ai plusieurs passions dans ma vie, comme le théâtre et l'écriture et j'aime bien les sciences. C'est pour ça que je participe au Club Sciences, une super activité le mardi à la pause de midi où j'ai pu découvrir de nouvelles choses. J'ai adoré la lecture critique d'articles.

LUCAS, 13 ANS

Bonjour, je m'appelle Lucas. En dehors des cours, j'aime apprendre l'anglais avec des jeux et des vidéos, et participer au Club Sciences. J'ai bien aimé la relecture d'articles, surtout celui sur les organoïdes cérébraux ! La relecture d'articles me fait aussi progresser en français.

MATHILDE, 11 ANS

Je suis en classe de sixième au collège Ambrussum et fais partie du Club Sciences. Je trouve ce qu'on y fait passionnant et nous y apprenons beaucoup de choses, et aussi de nouveaux mots grâce à la lecture d'articles. Des trois articles que nous avons critiqués, c'est celui-là que j'ai préféré car on y enquête sur un « personnage », le zéro. J'ai une grande passion pour la pâtisserie !

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 2 mars 2019; **ACCEPTÉ** le 11 novembre 2019

PUBLIÉ en ligne le 5 décembre 2019.

ÉDITION : Marco Aldi

MENTORS SCIENTIFIQUES : Suparna` Chakraborty, Jacob Scott

CITATION : Aczel M, Aczel D and Ville M (2019) Hero From the East: How Zero Came to the West. *Front. Young Minds.* 7:128. doi: 10.3389/frym.2019.00128

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2019 Aczel, Aczel and Ville

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATRICES

MAREN, 10 ANS

Je suis une élève qui aime apprendre, lire et écrire. Je joue du piano et du violon. J'aime les sciences et les mathématiques à l'école, lire des livres et regarder des films à la maison.

RYKA, 11 ANS

Je m'appelle Ryka. J'ai 11 ans et j'aime beaucoup l'informatique et les mathématiques. Quand je serai grande, je veux créer beaucoup de jeux vidéo et posséder une société de jeux. J'adore rédiger des articles pour le journal, car ils sont trop cool ! Je me demande comment on fait pour les écrire. Je veux aussi écrire beaucoup d'articles, mais j'ai peur. Et si les gens n'aiment pas mes articles ? Eh bien, je pense que j'essaierai.

AUTEURES

MIRIAM R. ACZEL

Je suis titulaire d'une bourse de doctorat du président à l'Imperial College de Londres. Mes recherches portent sur la manière dont le forage de gaz de schiste (gaz naturel piégé dans la roche de schiste) affecte à la fois la santé humaine et l'environnement. Je suis également cofondatrice et codirectrice de la Fondation Amir D. Aczel pour la recherche et l'éducation en sciences et en mathématiques, qui vise à encourager les jeunes étudiants du Cambodge à étudier les sciences et les mathématiques. Je suis passionnée par la rédaction scientifique et j'occupe actuellement le poste de directrice de la communication pour Leaders in Energy, une organisation environnementale à but non lucratif située à Washington DC. Je suis née le jour de la Terre, donc j'adore être

dehors et je cherche toutes les excuses pour passer du temps avec des animaux de toutes les formes et de toutes les tailles !
*miriam.aczel14@imperial.ac.uk

DEBRA ACZEL

Debra a été conseillère des étudiants de première année au Massachusetts Institute of Technology (MIT) pendant 25 ans, notamment dans le cadre d'un programme dans lequel les étudiants devaient proposer des solutions aux problèmes les plus difficiles du monde : comment s'assurer que le monde entier mange à sa faim ? Que faire face au changement climatique ? Pour « tester » leurs solutions, Debra emmenait chaque année les étudiants parler aux membres des communautés concernées par leurs propositions : en Inde pour voir comment un petit village nourrit sa communauté, en Afrique du Sud pour en savoir plus sur l'accès à l'eau. Elle codirige la Amir D. Aczel Foundation for Research and Education in Science and Mathematics, une organisation à but non lucratif qui soutient l'enseignement des mathématiques au Cambodge.

MARINA VILLE

Marina Ville est une mathématicienne française qui a passé 10 ans en Israël et 10 autres à Boston. Elle est maintenant de retour à Paris et travaille à l'université de Tours, en France. Elle est géomètre et étudie toutes sortes de formes, y compris les films de savon ou les nœuds. Marina aime partager ses idées avec ses collègues, mais aussi s'asseoir seule dans un café avec un problème délicat : il lui arrive de faire vingt fois le même calcul et, la vingt-et-unième fois, elle voit soudain comment sortir du labyrinthe.