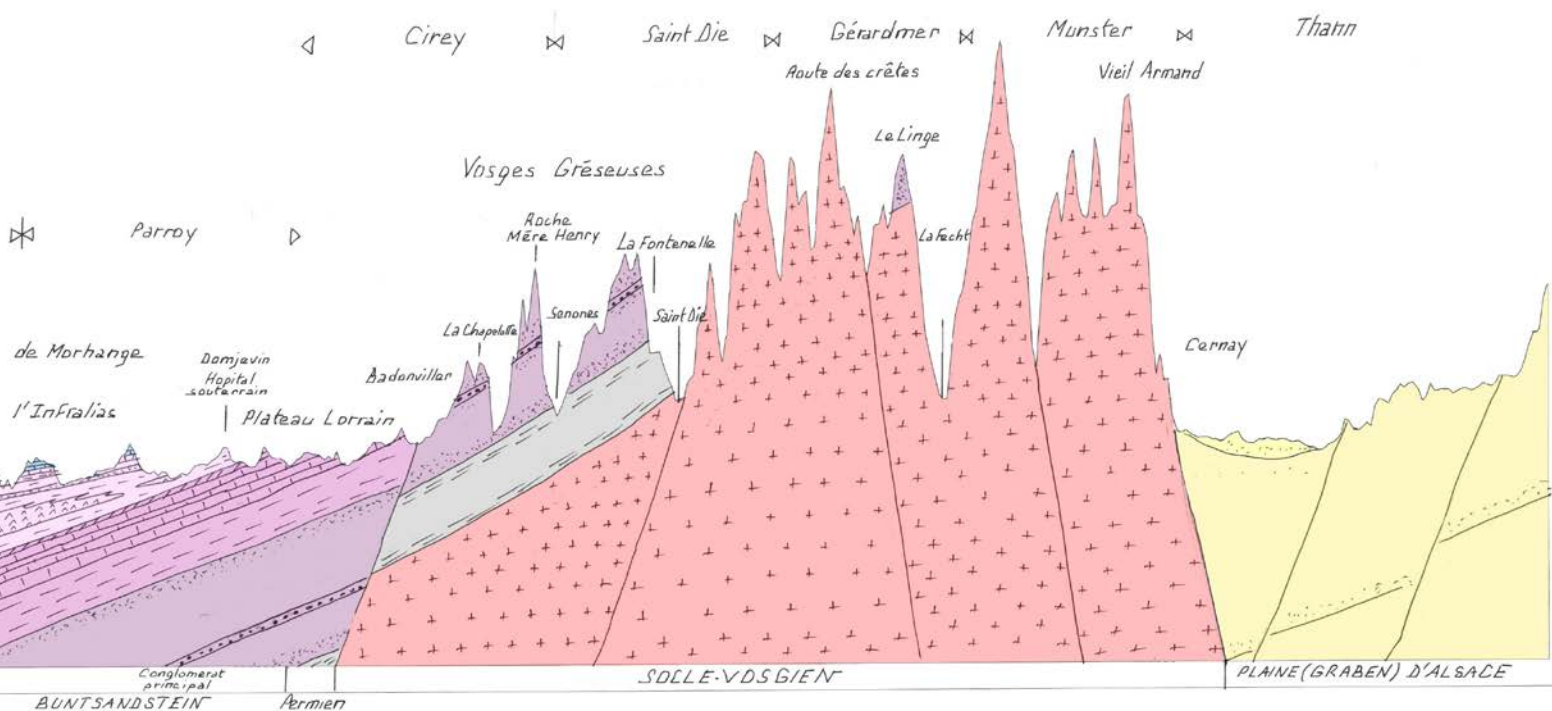




une butte témoin culminant à 285 mètres. L'érosion l'a modelée et séparée de la couche initiale, lui faisant dominer les environs d'une hauteur de 120 mètres. À partir du 21 février 1916, Vauquois voit son rôle de poste d'observation renforcé. La géologie particulière de cette butte témoin dénoyée (sans nappe phréatique) et cette roche si propice au creusement de galeries (17 kilomètres sont percés) permettent une guerre souterraine folle, au cours de laquelle sont recensées 519 explosions. En quatre ans de conflit, près de 15 000 hommes trouvent la mort sur cette petite parcelle de Lorraine (8000 Français, 6300 Allemands et 100 Américains).

UN HÔPITAL DANS LES MARNES DE LA LORRAINE

En Lorraine, à l'est de Nancy, la ligne de front d'octobre 1914 fluctue également très peu pendant quatre ans. La topographie de cette zone se caractérise par de molles ondulations de quelques dizaines de mètres. Les terrains constituant le soubassement correspondent aux marnes du Keuper inférieur, un étage géologique vieux de 230 à 220 millions d'années. Creuser des galeries dans ces marnes ne présente *a priori* pas de difficulté, car les couches aquifères sont pratiquement inexistantes et, par conséquent, il est rare que les eaux envahissent les conduits. Les sapeurs allemands profitent de leur connaissance du terrain pour creuser des mines vers le sud sous les lignes françaises depuis Leintrey. L'explosion du 11 juillet 1916 pulvérise une grande partie d'une compagnie du 162^e régiment d'infanterie et laisse place à des entonnoirs d'une cinquantaine de mètres de diamètre et de vingt mètres de profondeur. Plus au sud, à Domjevin (côté français), un hôpital destiné à soigner les blessés intransportables est mis en

chantier à partir de juillet 1916 dans une butte constituée des mêmes marnes. Il ne sera jamais mis en service, car il est planifié pour une offensive prévue le... 14 novembre 1918.

La guerre dans le Massif des Vosges présente de nombreux défis techniques. Les combats souterrains sont menés là où le relief, la géologie et l'hydrogéologie le permettent. L'eau ne doit pas être un obstacle dans le creusement d'ouvrages souterrains atteignant parfois 80 mètres de profondeur dans les grès relativement tendres du Trias inférieur (vers 250 millions d'années), comme à La Chapelle. Elle est vitale sur les crêtes pour alimenter les troupes, mais aussi pour fabriquer le béton des abris là où le creusement dans la roche trop dure est impossible.

Les connaissances des géologues ont ainsi joué un rôle fondamental dans le déroulement de la Grande Guerre. Et si elles ont été précieuses pour l'approvisionnement en eau et le creusement des galeries, elles ont aussi été fort utiles pour de nombreux autres aspects méconnus et insolites, comme l'établissement de cartes de praticabilité pour les tanks ou l'expertise des matériaux des compas d'aviation et des cristaux de quartz, qui ont servi à développer les premiers sonars, destinés à détecter les sous-marins, ou encore pour répondre à la grande demande de minerais et de pétrole. Aujourd'hui, alors que l'on commémore le centenaire de la fin des combats, des géologues continuent d'apporter leur expertise aux conflits modernes. Mais d'autres scrutent toujours les champs de bataille de la Première Guerre mondiale. Ils y étudient à présent son impact en termes de pollution chimique ou recherchent des cavités dangereuses à sécuriser. Les géologues n'en ont pas fini avec la Grande Guerre. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Hubé, 14-18, **Tremblements de guerre**, BRGM éditions, 2018.

F. Hanot et F. Simien, **Sous les lignes de front**, BRGM éditions, 2017.

E. P. F. Rose et J. D. Mather, **Military aspects on hydrogeology**, GSL Special Publications, 2012.

A. H. Brooks, **The use of geology on the western front**, USGS, 1920. <https://on.doi.gov/2NKBvso>

R

ENDEZ-VOUS

P.78 Logique & calcul
 P.84 Idées de physique
 P.88 Science & fiction
 P.92 Chroniques de l'évolution
 P.96 Science & gastronomie
 P.98 À picorer

UN GRAPHE UNIVERSEL ET SINGULIER

Qu'un seul nombre puisse contenir, dans ses décimales, tous les autres est déjà un fait étrange et troublant. Mais le monde des graphes présente une situation analogue encore plus surprenante, qui frôle le paradoxe.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
 professeur émérite
 à l'université de Lille
 et chercheur au Centre
 de recherche en
 informatique, signal
 et automatique de Lille
 (Cristal)



Jean-Paul Delahaye a récemment publié : **Les Mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).

Les nombres universels contiennent toutes les images numériques, tous les textes possibles, et tous les nombres finis ou infinis, y compris eux-mêmes une infinité de fois. De même, le « graphe universel de Rado » contient tous les graphes finis ou infinis. Il existe cependant une différence importante entre ces deux universels : il y a une infinité de nombres universels, alors que le graphe universel de Rado est unique. Il est l'un de ces objets mathématiques aux propriétés déconcertantes dont les chercheurs découvrent l'existence avec stupeur et émerveillement. Aventurons-nous dans ce monde étrange de l'universalité mathématique.

LES NOMBRES UNIVERSELS

En choisissant successivement des chiffres au hasard $a_1, a_2, a_3, \dots$, par exemple avec un dé à dix faces et en les prenant comme les décimales successives d'un nombre commençant par 0, on définit un nombre réel u compris entre 0 et 1 : $u = 0, a_1 a_2 a_3 \dots$. Nous considérons ici l'écriture des nombres en base 10, mais ce que nous allons affirmer s'étend à toute base de numération.

Si votre dé est équilibré, c'est-à-dire si chaque face tombe avec une probabilité de $1/10$, le nombre u est un nombre universel, ou « nombre univers », ou « nombre disjonctif ». Par définition, cela signifie que toute suite finie de chiffres se situe quelque part après la virgule, en un seul bloc, dans les décimales de u .

Dans u , vous trouverez donc par exemple 20 fois de suite le 7, ou 1000 fois de suite le 0,

ou la séquence 19982018. Cela signifie aussi que si vous codez la photo de votre grand-père par une suite de chiffres, par exemple avec un million de chiffres lus comme des niveaux de gris et qui, disposés en un carré de 1000 pixels sur 1000, reproduisent la photo, alors cette photo de votre grand-père est quelque part dans ce nombre universel. Bien sûr, dans u , il y a aussi la photo de votre chat, celle de Georg Cantor, celle de la tour Eiffel en construction en janvier 1888, celle de Neil Armstrong posant le pied sur la Lune le 20 juillet 1969, etc. En utilisant un codage où deux chiffres consécutifs définissent un numéro de lettre, vous trouverez aussi dans le nombre universel u le texte des *Éléments* d'Euclide, la déclaration universelle des droits de l'homme en serbo-croate, *Le Capital* de Karl Marx écrit en français à l'envers et en supprimant la page 666, et même le texte de cet article ou le récit en dix pages de votre journée de demain. Je n'insiste pas, à vous d'imaginer.

La méthode du dé à dix faces pour définir un nombre universel n'est pas parfaitement satisfaisante, car elle fait intervenir le hasard et qu'il faut attendre un temps infini pour en disposer ! Une autre méthode, cette fois déterministe, proposée par David Champernowne, un ami d'Alan Turing, consiste à écrire les uns derrière les autres les chiffres des entiers : le nombre de Champernowne $Ch = 0,1234567891011121314151617181920212223\dots$ est universel. Concaténer les nombres premiers donne aussi un nombre universel.

Par définition, les nombres universels contiennent toutes les suites finies possibles de ➤