

Le choix s'est alors porté sur l'étude de deux types de matériaux prometteurs : les zéolithes d'une part, une famille de cristaux microporeux constitués d'aluminosilicates, et les MOF (*Metal Organic Framework*) d'autre part, des composés hybrides, à la fois minéraux et organiques.

Pourquoi ? Les zéolithes, d'abord : « Ces matériaux sont déjà utilisés pour épurer des gaz au niveau industriel, résistent assez bien aux conditions d'oxydation et d'irradiation et sont peu sensibles à la température », explique Laurent Cantrel. De plus des travaux pionniers menés aux États-Unis dans les années 1970 avaient montré que si on les enrichit en argent, ils peuvent piéger l'iode gazeux. Cette capacité d'adsorption tient à leur structure cristallographique : les zéolithes ont un squelette d'atomes de silicium et d'aluminium, que l'on peut enrichir en cations métalliques*. En effet, si l'on substitue un atome de silicium par un atome d'aluminium, on crée une charge négative que l'on peut compenser en ajoutant un cation, qui vient se fixer à ce squelette. De cette façon, en jouant sur le rapport silicium/aluminium, on dope le matériau en cations. Ce sont ces cations qui réagissent sélectivement avec l'iode gazeux. Dans le cas de l'argent, le cation (Ag^+) réagit avec l'iode de (I_2) ou de (CH_3I) pour former de l'iodure d'argent (AgI), qui restera fixé dans les pores de la structure.

TEST DANS LES CONDITIONS D'UN RÉACTEUR ACCIDENTÉ

Comment définir à la fois le type de zéolithe le plus adapté et le cation le plus performant dans les conditions de l'enceinte du réacteur accidenté ? Au début du projet en 2013, c'est donc à un ensemble de questions qu'il fallait répondre : l'argent est-il bien le meilleur cation ? Si oui quelle est la teneur en argent optimale pour un filtre efficace ? Le piégeage est-il pérenne ? Quelle est l'influence des autres gaz présents sur la capacité d'adsorption de ce matériau ?

Sous la direction de Laurent Cantrel et de Bruno Azambre de l'université de Lorraine, Mouheb Chebbi, aujourd'hui chercheur à

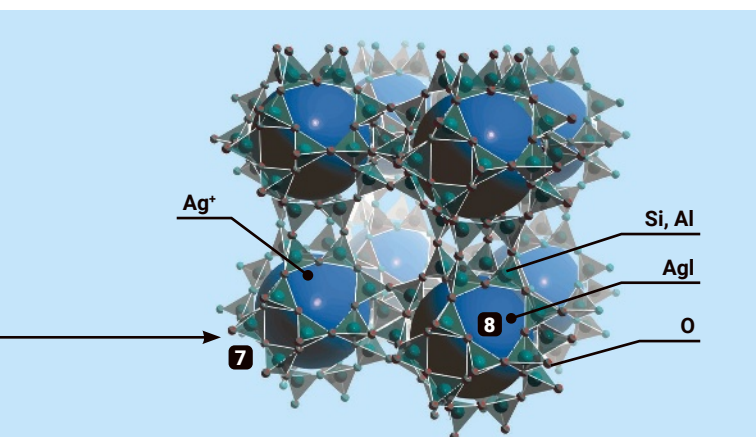
l'IRSN, démarrait alors sa thèse : « Nous avons commencé par explorer les performances de différents cations, comme le cuivre, l'argent, le plomb, etc. pour une structure de zéolithe donnée, en combinant des calculs de chimie théorique qui modélisent les interactions électroniques entre atomes et des analyses expérimentales. Les deux approches ont révélé parallèlement que l'argent (Ag^+) était bien le plus apte à capturer durablement l'iode des gaz I_2 et CH_3I , dans les conditions de température, d'humidité et d'irradiation d'un accident grave », explique-t-il.

Toujours dans le cadre du projet MIRE, les chercheurs ont ensuite testé expérimentalement et de manière systématique, pour une quinzaine de zéolithes différentes dopées à l'argent, les effets de structure, de texture et de la teneur en argent sur la capacité d'adsorption de l'iode ainsi que sur la stabilité des composés piégés. Résultat, la faujasite, une zéolithe à larges pores (voir infographie) s'est révélée le matériau le plus prometteur. Enrichie à hauteur de 20 % en argent, elle atteint les meilleures performances de rétention et de stabilité du stockage de l'ordre de plusieurs centaines de milligrammes d'iode capté par gramme d'adsorbant, dont 80 % sous forme de précipité AgI , très stable.

Puis, les équipes de Laurent Cantrel et de Céline Monsanglant-Louvet, de l'IRSN, ont confirmé les performances de ce matériau sur les bancs expérimentaux Safari et Persée de l'IRSN, dont les spécificités complémentaires permettent de couvrir les conditions particulières d'un accident (température, débit gazeux, humidité, nature du gaz, iode stable ou radioactif). Cette zéolithe est donc clairement un très bon candidat.

Quant aux MOF, la deuxième famille de matériaux investiguée, les recherches menées par l'équipe de Thierry Loiseau et Christophe Volklinger, de l'université de Lille, sont en cours. Cette piste reste à creuser.

D'ici à 2022, durant les deux dernières années du projet MIRE, des travaux complémentaires seront réalisés pour s'assurer que les résultats obtenus à l'échelle du laboratoire sont toujours valides dans des conditions propres à une mise en œuvre possible dans les réacteurs français. ■



LA FAUJASITE, PIÈGE À IODE RADIOACTIF

La zéolithe de type faujasite est un minéral de synthèse. La structure cristallographique d'aluminosilicates – un arrangement régulier de tétraèdres de $[(\text{SiAl})\text{O}_4]^-$ – qui forme sa charpente crée de nombreux espaces vides. Ces cages, symbolisées ici par les sphères bleues, constituent un réseau très poreux, capable de fixer sur un site particulier des cations, comme l'ion Ag^+ . Ce sont ces cations d'argent qui réagissent avec l'iode gazeux pour former de l'iodure d'argent, AgI . Ce dernier s'accumule alors à l'intérieur des pores bleus 8 et y reste stocké de manière pérenne.

NOTES

> Les cations métalliques sont des ions à charge positive, formés à partir d'atomes d'éléments métalliques ayant perdu un ou plusieurs électrons.

RÉFÉRENCES

> <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/Organisation/Programmes/projet-Mire/Pages/projet-Mire.aspx>

> BOSLAND L., COLOMBANI J., Study of the radiolytic decomposition of CsI and CdI_2 aerosols deposited on stainless steel, quartz and Epoxy painted surfaces, *Annals of Nuclear Energy*, 141, 107241 (2020).

> CHEBBI M., AZAMBRE B., CANTREL L., KOCH A., A Combined DRIFTS and DR-UV-Vis Spectroscopic in Situ Study on the Trapping of CH_3I by Silver-Exchanged Faujasite Zeolite, *Journal of Physical Chemistry C*, 120(33), 18694-18706 (2016).

> CHEBBI M., AZAMBRE B., Evaluation of Silver Zeolites Sorbents Toward Their Ability to Promote Stable CH_3I Storage as AgI Precipitates, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(30), 25194-25203 (2017).

> AZAMBRE B., CHEBBI M., LEROY O., CANTREL L., Effects of Zeolitic Parameters and Irradiation on the Retention Properties of Silver Zeolites Exposed to Molecular Iodine, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57, 1468-1479 (2018).

Des mathématiciens dans la Grande Guerre

Dans les années 1930, le groupe de mathématiciens Bourbaki a promu une vision abstraite et universelle de sa discipline en rupture avec celle de ses prédécesseurs. Le sacrifice de nombreux jeunes mathématiciens durant la Première Guerre mondiale a sans doute fortement contribué à ce revirement.

Le 11 novembre 1918, à 11 heures, prend effet l'Armistice signé entre les puissances belligérantes. Des Vosges à la mer du Nord, les canons et les mitrailleuses se taisent, les chars d'assaut s'arrêtent, les avions ne décollent plus, les gaz toxiques produits à grande échelle restent dans leurs cylindres, non sans avoir auparavant laissé dans le deuil des millions de familles qui ont sacrifié ce qu'elles avaient de plus cher, leurs jeunes. Dans ce terrible bilan de la Première Guerre mondiale, personne n'a été épargné, pas même «cette élite de chercheurs, de savants, d'écrivains qui, si vite, se sont révélés des chefs sous la mitraille», comme l'évoquait le mathématicien et homme d'État Paul Painlevé en 1916 dans un article intitulé *L'École normale supérieure et la guerre*. Dans cette guerre vite qualifiée de «scientifique», comment a-t-on pu consentir à ce massacre? Et quelles en ont été les conséquences sur les sciences d'après-guerre?

Jusqu'à récemment, la plupart des recherches historiques à propos des sciences pendant la Première Guerre mondiale ont porté sur la mobilisation des savoirs au service d'objectifs militaires. Cependant, en 2014, avec d'autres historiens des sciences, nous avons souligné dans l'ouvrage *The War of Guns* >



© Shutterstock.com/Everett Collection

L'ESSENTIEL

> L'École normale supérieure a payé un tribut particulièrement lourd durant la Première Guerre mondiale. Rien qu'en mathématiques, 22 normaliens agrégés ont été tués.

> Les récits construits à propos de ces jeunes gens ont contribué à forger la mémoire de ce conflit chez les savants.

> Deux visions contradictoires ont émergé : celle d'une science qui s'est mobilisée comme jamais pendant la guerre et celle d'une

science qui est restée à l'arrêt pendant plus de quatre ans.

> Juste après la guerre, un nouveau discours les a réconciliées en promouvant une science neutre et désintéressée.

> Dans les années 1930, en adoptant ce discours, le groupe de mathématiciens Bourbaki a contribué à faire des mathématiques la discipline pure et neutre qu'elle est encore aujourd'hui.

L'AUTEUR



DAVID AUBIN
professeur
d'histoire
des sciences
mathématiques
à Sorbonne
Université, à Paris



Durant la Première Guerre mondiale, les normaliens ont combattu au front comme les autres appelés, participant à la guerre des tranchées et aux grandes batailles comme celles de la Somme ou de Verdun (ici des soldats français durant cette dernière en avril-juin 1916).

> *and Mathematics*, à partir de divers cas internationaux, combien les savants – les mathématiciens en l'occurrence – ont joué différents rôles dans cette guerre «totale».

Les plus jeunes, d'abord, ont souvent servi dans l'armée et, pour plusieurs, sont morts sur le front. Certains, un peu plus âgés, ont pu utiliser leurs compétences mathématiques comme enseignants ou experts techniques. D'autres encore, tel le mathématicien Émile Borel, ont organisé la recherche militaire à des niveaux nationaux ou internationaux. Enfin, les plus âgés, comme Émile Picard, se sont souvent sentis investis d'une mission culturelle et se sont lancés dans une véritable croisade intellectuelle qui, si elle a d'abord eu pour objectif d'affirmer la supériorité des nations alliées, a aussi concerné la manière dont il faut comprendre le rôle des sciences dans les sociétés modernes. Pour Painlevé, par exemple, la guerre a été un «duel à la vie, à la mort [...] entre deux conceptions de la civilisation: il s'agissait de savoir si la science serait pour l'homme un moyen de libération et d'ennoblissement ou l'instrument de son esclavage.»

BOURBAKI, MARQUÉ PAR LA GUERRE

C'est peut-être dans ce contexte qu'il convient de comprendre, en France, l'émergence dans les années de l'entre-deux-guerres d'un groupe de mathématiciens, le collectif Bourbaki. Avec succès, ce groupe a promu une vision des mathématiques en rupture avec celle de leurs aînés. Là où ces derniers prenaient pour acquis la continuité entre sciences naturelles et mathématiques, les bourbakis comme Jean Dieudonné ou André Weil ont insisté sur l'as-

pect abstrait et universel de leur discipline.

Trop jeunes pour avoir combattu, ils appartenaient à une autre génération encore. Fréquentant l'École normale supérieure (ENS) de la rue d'Ulm, à Paris, au début des années 1920, ils ont parfois attribué à la guerre l'origine de leur conception originale des mathématiques: «Nous autres, les jeunes, se rappellera ainsi Weil, [...] nous aurions normalement dû avoir comme guides toutes ces promotions de jeunes mathématiciens dont certains, nous sommes sûrs, auraient donné beaucoup plus que des promesses, qui avaient été brutalement décimés et dont l'influence était donc détruite.»

Comme tout le monde, les mathématiciens se racontent des histoires qui sont le reflet de leurs expériences. Les récits des membres de Bourbaki attirent notre attention sur le cas de leurs prédécesseurs. Entre 1914 et 1918, 22 normaliens agrégés de mathématiques ont été déclarés morts pour la France, soit environ une promotion et demie de l'agrégation. À l'époque, la Société mathématique de France comportait 178 enseignants. La perte de 22 jeunes gens, sans compter les élèves qui n'ont pas eu le temps de compléter leurs études, est donc significative. Mais ces nombres seuls ne racontent pas d'histoire. Bien que par la suite, on n'ait guère retenu que ces nombres, ce sont les récits construits à propos des jeunes gens tués à la guerre qui ont – plus que les chiffres – contribué à forger la mémoire du conflit chez les savants.

Des recherches récentes tendent à montrer que les récits qu'offrent les bourbakis de leurs années de formation s'appuient en creux sur ceux qu'on a fait du triste destin des

L'École normale supérieure, rue d'Ulm, à Paris, vers 1900.



mathématiciens dont Weil déplore l'absence. C'est qu'il a fallu conférer du sens à la vie de ces scientifiques morts au combat avant d'avoir pu laisser des traces importantes dans les sciences. Et si ces récits avaient joué un rôle dans l'émergence d'une nouvelle conception des mathématiques, plus abstraites, plus facilement détachables d'un point de vue moral des usages militaires qu'elles reçoivent ?

PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES AU LYCÉE DU MANS

Revenons au jour de l'Armistice. À l'hôpital du Mont-Frenet, à La Cheppe (Marne), grièvement blessé, un jeune homme de 32 ans, autrefois professeur de mathématiques au lycée du Mans, se réjouit de la paix qui arrive : « Toutes ces bonnes nouvelles ragaillardissent », écrit-il à son épouse. Reçu à la fois à l'École polytechnique et à l'École normale supérieure en 1906, Paul Viple a choisi la seconde alors qu'ils sont peu à le faire. Dans la notice nécrologique qu'il lui consacre en 1920 – et dont ce récit est tiré –, son ancien camarade de classe Maurice Gevrey évoque comment il avait ébloui tant ses camarades que ses professeurs par ses aptitudes intellectuelles : « Nous [...] faisons de longues séances au tableau, à la recherche de quelque problème d'agrégation, long... et parfois ennuyeux. Il avait, dans les calculs compliqués et ingrats, une patience et une sûreté qui nous émerveillaient et il fut bien souvent le seul à poursuivre jusqu'au bout une question que nous abandonnions – leçon très simple de conscience et de volonté qu'il nous donnait à tous. » En 1909, Viple passe l'agrégation de mathématiques. Suivent deux années de service militaire avant qu'il ne commence à enseigner à Paris. Bien qu'il soit agrégé, on lui assigne des classes de niveau inférieur, mais cela semble lui plaire : « J'aime les petits », aurait-il confié à un ami.

Entre-temps, Viple commence à travailler à une thèse de doctorat qui traite des équations fonctionnelles. On sait peu de chose de ce travail qui n'a jamais été publié sous quelque forme que ce soit. Il s'inscrit dans la grande tradition française de l'analyse mathématique, qui a alors atteint son apogée grâce à des figures comme Borel lui-même, mais aussi d'Henri Lebesgue et Maurice Fréchet, lesquels ont précédé Viple de peu à l'ENS.

À l'instar de nombre d'autres normaliens morts à la guerre, Viple laisse une marque plus profonde en tant que professeur. À partir des témoignages qu'il rassemble auprès de nombreux collègues et élèves, Gevrey brosse le tableau vivant du jeune professeur de mathématiques au lycée du Mans, celui d'un homme modeste, patient et, par-dessus tout, d'une grande dévotion envers ses élèves. Ainsi ce



En 1919, peu après la réouverture de l'École normale supérieure, les élèves ont lancé une souscription pour la construction d'un monument aux morts. Celui-ci, érigé en 1923, évoque dans ses bas-reliefs les dures conditions de vie sur le front, comme ici des mitrailleurs en action dans les tranchées.

Entre 1914 et 1918, 22 normaliens agrégés de mathématiques sont morts pour la France

témoignage d'un ancien élève : « C'était toujours avec cette entière simplicité, qui donne confiance à l'élève et ne le rebute pas, qu'il nous initiait aux sciences mathématiques et, toujours avec la même patience, il reprenait les théories, pour lui si claires, que nos esprits rebelles n'avaient point encore assimilées. »

En juillet 1914, Viple épouse une de ses amies d'enfance. Une vie de bonheur semble s'ouvrir à eux, poursuit Gevrey. La nouvelle de la mobilisation générale survient alors que le couple est en voyage de noces en Suisse. Pour beaucoup de normaliens, l'expérience de la guerre est brutale. Dès janvier 1915, l'ENS se rend compte de l'ampleur de la tragédie. Lors de la rencontre annuelle des anciens élèves, on rapporte que sur les 195 élèves actuels mobilisés, seul un peu plus du quart (soit 55 d'entre eux) est indemne après à peine cinq mois de guerre : 35 ont été tués ; 15 ont disparu ; 74 sont blessés ; 21 sont prisonniers ; 9 sont malades. ➤

> Ces chiffres sont, tous contextes confondus, parmi les premiers qui circulent dans la presse à propos du coût humain de la campagne désastreuse des derniers mois. Globalement, les recherches récentes confirment que les élèves de l'ENS ont bien été touchés, en proportion, plus que ceux d'autres institutions similaires (sauf l'école militaire de Saint-Cyr) et même que la population masculine française en général. Dans les classes de 1910 à 1912, c'est plus de la moitié qui est tuée ! Mais il convient aussi de noter que les promotions plus anciennes, auxquelles appartient Viple, si elles ont offert leur contingent à la cohorte des morts pour la France, ont en général été mieux préservées.

Il faut relire les terribles romans de Maurice Genevoix, normalien en section lettres, pour comprendre que malgré leurs succès scolaires, ces jeunes gens ont le plus souvent partagé le triste et fatal quotidien de leurs compatriotes. Au début du conflit, en tout cas, le fait d'avoir une formation de scientifique ne permet pas d'échapper aux rigueurs de la guerre des tranchées et l'armée semble n'avoir que faire de leurs compétences particulières. Contrairement à beaucoup, Viple se voit cependant offrir l'occasion de tirer directement avantage de ses études et intègre un régiment du Génie qui offre une protection relative. Il ne rejoint le front qu'en octobre 1915. En juillet 1916, il prend part à l'offensive de la Somme et fait preuve, sous le feu de l'ennemi, d'une conduite

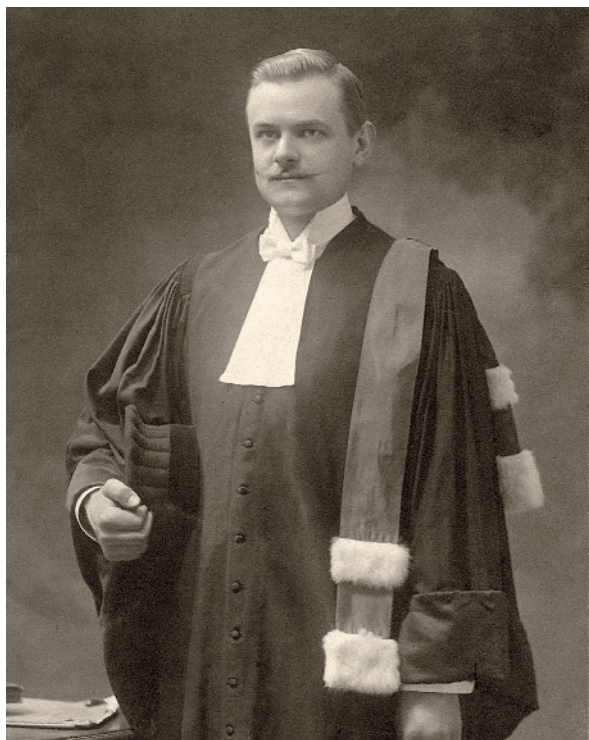
héroïque qui lui vaudra d'être décoré de la Légion d'honneur. Après une courte maladie, Viple arrive à Verdun en août 1917 et reste sur le front jusqu'aux dernières offensives qui débutent le 26 septembre 1918. Quelques jours avant d'être fatalement blessé, il écrit à sa femme : « Je me trouve bien de cette vie intéressante et active, mais pas trop dangereuse ; je suis content d'avoir réussi à te rassurer et à calmer tes inquiétudes. »

Avoir une formation scientifique ne permet pas d'échapper à la guerre des tranchées

Fin octobre 1918, son équipe travaille à la consolidation d'une passerelle sur le canal des Ardennes lorsqu'une première salve blesse deux soldats. Un deuxième obus touche un groupe de travailleurs : l'un d'eux meurt sur-le-champ, six sont blessés, dont Viple. Transporté dans un hôpital de campagne, il écrit à sa femme : « Il m'est arrivé un petit accident sans gravité : j'ai reçu quelques éclats d'obus dans le dos qui ont été retirés ce matin. Tout va bien... » Malheureusement, la convalescence ne se passe pas comme prévu. Le lendemain de l'Armistice, on l'opère à nouveau. Le 17 novembre, il écrit d'une main tremblante : « C'est un beau dimanche qui doit commencer l'occupation de l'Alsace-Lorraine. » À minuit, il était mort.

DONNER DU SENS À L'INJUSTIFIABLE

Tel que le rapporte Gevrey dans sa notice, le contraste entre la vie de Viple avant la guerre et celle qu'il mène sur le front est choquant. Mais au milieu de son témoignage, il introduit une solution de continuité en citant un ancien élève de Viple. Bien que cet élève n'ait jamais croisé Viple sur le front, il l'imagine « là-bas, toujours le même, aimable et doux, toujours calme, au repos comme dans la tranchée, la nuit comme le jour, à l'affût comme à l'heure de l'assaut, et bon pour ses hommes comme il l'avait été pour ses élèves. » L'exemple de Viple, comme celui de plusieurs de ses camarades d'infortune, montre l'importance du récit qui permet de donner du sens à l'injustifiable.



Paul Viple (1886-1918), normalien de la promotion de 1906, était professeur de mathématiques au lycée du Mans lorsqu'il fut mobilisé.

Dans les récits que l'on fait du malheureux sort de jeunes scientifiques comme Viple, le rapport entre sciences et guerre n'est donc pas celui qu'on croit. Plus qu'une ressource à mobiliser pour innover dans les techniques de combat, leur science est une valeur culturelle qui sert d'assise à leur généreuse conduite pendant la guerre. C'est que, comme le déclare Painlevé dans l'extrait cité plus haut, la Première Guerre mondiale voit s'affronter deux visions des sciences, lesquelles se reflètent dans la manière dont on raconte dès l'immédiat après-guerre l'effort de mobilisation consenti par les scientifiques eux-mêmes.

DEUX VISIONS CONTRADICTOIRES DES SCIENCES

On trouve d'abord la vision héroïque d'une cohorte de savants qui a su mettre son ingéniosité au service de la nation en danger. À la fin de la guerre, Painlevé, qui de fait a dirigé le gouvernement de la France en 1917, déclare ainsi devant les membres de l'Académie des sciences: dans cette salle, «j'aperçois [...] tels physiciens qui ont contribué à développer les applications militaires de la T.S.F.; tels chimistes qui, dans la guerre des gaz, ont accru nos moyens de protection et d'attaque; tel mathématicien, tel géodésien dont les calculs ont servi à repérer et à détruire les batteries ennemies». Les historiens l'ont amplement montré depuis, la Première Guerre mondiale est bien le théâtre d'une formidable mobilisation des scientifiques, qui, à bien des égards, forme la matrice de l'appui national consenti depuis à la recherche scientifique – le CNRS est par exemple l'héritier direct des structures mises en place à cette époque, notamment la Direction des inventions intéressant la défense nationale, dirigée par Émile Borel.

Mais il existe aussi une vision qui s'exprime avec plus de discrétion, même si elle est, elle aussi, contemporaine du conflit. Une vision qui cherche à mettre la science à distance des horreurs de la guerre. La science n'est-elle qu'un mot «vide de sens», un «faux-semblant hypocrite», s'inquiète dès décembre 1914 le mathématicien Paul Appell? Non, elle doit bien sûr demeurer une des valeurs culturelles chères à la France et qu'il faut à tout prix défendre. Ainsi, ce seraient plutôt les applications de principes connus et non le développement de nouveaux principes fondamentaux qui auraient dominé cette courte période. La manière dont Painlevé lui-même décrit la trajectoire de Borel lors de sa candidature à l'Académie des sciences en 1919 est éloquent: «Les travaux mathématiques de Mr Borel ayant été interrompus par la guerre, je n'ai besoin d'ajouter à mon rapport de 1912 que quelques mots relatifs à la période entre

janvier 1913 et juillet 1914.» Comme si la mobilisation scientifique n'avait rien à voir avec sa qualité de savant...

POUR UNE SCIENCE MORALEMENT NEUTRE

Alors, les sciences se sont-elles mobilisées pour la guerre comme jamais auparavant ou ont-elles été à l'arrêt pendant plus de quatre ans? Cette alternative, comme la contradiction évoquée en présentant l'histoire de Viple, entre la vie d'avant-guerre des jeunes normaliens et leur expérience du conflit, se résout en forgeant une nouvelle vision des sciences. C'est encore Painlevé, dans son discours à l'Académie des sciences en 1918, qui donne la clé permettant de faire la synthèse. La science, sous-entend-il, est comme le fer, qui «peut servir à moissonner ou à tuer». La science, en d'autres termes, est neutre moralement: elle n'a pas d'objectifs qui lui soient propres. Seuls ceux qui cherchent à l'appliquer en ont, bénéfiques ou néfastes selon les circonstances. Sans doute faut-il insister, puisque nous en sommes les héritiers, sur l'étrangeté qu'aurait eue cette nouvelle vision des sciences aux yeux des générations précédentes qui, dans la patrie de Condorcet et de Pasteur, voulaient n'en percevoir que l'aspect intrinsèquement positif.

Pour comprendre comment s'impose cette nouvelle vision des sciences, il suffit de constater à quel point elle cadre tout à fait avec celle mise en avant dans les récits faits de la vie des jeunes normaliens morts au combat. La tradition nécrologique de l'ENS est ancienne, mais les notices des morts de la guerre s'en détachent nettement du fait de la jeunesse de leurs sujets. Les circonstances tragiques de leur production nous fournissent un matériel d'une qualité exceptionnelle pour décrire en détail la vie, l'œuvre et la mort de jeunes savants au début du ^{xx}e siècle. Les histoires qu'on raconte à leur propos sont émouvantes et il est impossible de les lire sans être profondément affecté par la tragédie individuelle que représente chacune de ces trop courtes existences. Ces histoires cherchent à remplir plusieurs objectifs. C'est évidemment le moyen de faire le deuil de la perte cruelle d'un ami ou d'un élève. C'est aussi l'occasion de rendre hommage à des jeunes gens qui, après un parcours scolaire exceptionnel, se sont dévoués à leur métier de mathématicien. Prises ensemble, ces notices brosent un portrait de groupe qui aura un impact sur la manière dont on cherchera à comprendre la guerre et les sciences.

Ces mathématiciens viennent de toutes les régions de France et sont d'origines sociales diverses, bien que souvent relativement modestes. Leurs *curriculum vitae* qui subsistent parfois dans les archives – comme celui de Joseph Marty, spécialiste des équations de >



Âgé de 43 ans au début de la Première Guerre mondiale, Émile Borel (1871-1956), mathématicien normalien de la promotion 1889, fut chargé d'organiser la recherche militaire en France.



Alfred Ballougue (1887-1915), mathématicien normalien de la promotion 1909, photographié juste avant de partir au front.

1908	2 morts, 1 blessé
1909	5 morts, 19 blessés, 1 prisonnier
1910	19 morts, 6 disparus, 16 blessés, 4 prisonniers.
1911	3 morts, 1 disparu, 13 blessés, 3 prisonniers.
1912	9 morts, 2 disparus, 10 blessés, 6 prisonniers.
1913 A	8 morts, 3 disparus, 15 blessés, 7 prisonniers.
1913 B	3 morts, 7 blessés, 2 prisonniers.
1914	1 mort, 1 blessé, 2 prisonniers.
Total	48 morts - 12 disparus - 73 blessés - 25 prisonniers
<i>à ajouter</i>	<i>4 préparateurs morts</i>
	<i>1 blessé</i>
	<i>2 agents disparus.</i>

Décompte des morts, disparus, blessés et prisonniers parmi les élèves de l'École normale supérieure (à gauche, leur promotion) en 1915.

Le but de la génération montante paraît clair : faire de la recherche mathématique pure

➤ Fredholm, tué le 10 septembre 1914 dans la Meuse – montrent des trajectoires fulgurantes dans de multiples lycées de France, puis dans les classes préparatoires. À l'ENS, ils étudient avec quelques-uns des meilleurs mathématiciens du monde et, après leur agrégation, poursuivent des carrières dans l'enseignement ou la recherche. Des 22 mathématiciens dont on a étudié le destin, 2 seulement ont déjà soutenu une thèse (l'un est enseignant à l'université de Lille; l'autre astronome à Bordeaux); mais 6 autres ont publié des recherches intéressantes et 4 encore ont pu être identifiés comme travaillant à une thèse. Le plus célèbre d'entre eux est sans doute René Gateaux, dont le travail est publié par de jeunes survivants après sa mort le 2 octobre 1914. Mais il convient d'évoquer aussi le travail de Georges Lery sur les fonctions de Green, celui de Jean Clairin sur les transformations de Bäcklund, celui d'Alphonse Blondel sur les marées de la mer Rouge... et plusieurs autres qu'on connaît parfois moins bien.

Si ces parcours sont déjà frappants par leur richesse, ces notices nécrologiques renforcent encore cette impression par le chaleureux

portrait, répété page après page, de jeunes gens aussi travailleurs que modestes, respectueux de leurs professeurs, dévoués à leurs élèves comme à leurs enfants. Dans quelques rares occasions, d'autres sentiments émergent. Ils servent souvent à souligner des engagements internationalistes, comme celui de Théophile Rousseau en faveur du mouvement espérantiste, ou – beaucoup plus rarement – de la méfiance vis-à-vis des mathématiques allemandes. Bien sûr, toutes ces qualités se sont transformées en ressources vitales après la déclaration de la guerre. Dans l'ensemble, on dépeint ces jeunes hommes comme étant allés au combat avec résignation: il y a peu d'enthousiasme patriotique dans les récits, mais aucune hésitation non plus à propos de leur devoir. Alfred Ballongue a pris le temps de poser devant le photographe avant de partir au front, mais il a plaidé pour qu'on ne le sépare pas de ses hommes. Comme Vipre, le professeur normalien a transféré alors à ses hommes le mélange de bienveillance et de rigueur qu'il réservait à ses élèves.

Certains sont tombés dans des circonstances cruelles, comme Jean Merlin, abandonné blessé sur le champ de bataille et retrouvé mort quelques jours plus tard à plusieurs kilomètres de là. D'autres sont morts héroïquement, comme Jean Piglowski, tué le 18 février 1915 à la tête d'une section de mitrailleurs, après avoir offert une telle résistance que les Allemands auraient érigé sur sa tombe une stèle en son honneur. L'histoire de Piglowski et d'autres frappera la conscience des fabricants de discours. Pendant la guerre, toute une littérature développera la figure du chef que ces jeunes intellectuels incarneront désormais. Peu à peu, c'est pourtant l'image de la promesse brisée qui prendra le dessus. En évoquant en 1919 la mémoire de Paul Lambert, âgé d'à peine 21 ans quand il a été tué, son camarade Gaston Julia – lui-même défiguré par un obus – compare son destin à celui du mathématicien Évariste Galois, mort en 1832 à 20 ans à la suite d'un duel.

DES MATHÉMATIQUES PURES EN RÉACTION À LA GUERRE

Pour les mathématiciens qui organisent la mobilisation scientifique et qui, pour certains, perdent aussi des proches, des élèves, des fils même, l'impression laissée par le massacre est très forte. Les récits tirés des notices nécrologiques connaissent un fort retentissement dans la presse. À la fin de la guerre, le prix payé par l'École semble exorbitant. Si l'éducation que les normaliens ont reçue leur a permis de remplir leur rôle dans la bataille, ils ont aussi convaincu les autorités que leurs aptitudes intellectuelles étaient essentielles

à la guerre moderne. Dorénavant, les savants serviront en tant que scientifiques, ou du moins dans les armes techniques, où ils seront moins exposés.

À la rentrée solennelle du 24 mars 1919, on commence à cultiver le souvenir de la Grande Guerre sur une double base : d'une part, le rappel du sacrifice de l'École et des promesses brisées que chaque vie perdue représente ; d'autre part, la réaffirmation de la mission de l'École en faveur de « la recherche libre et de la science désintéressée » et de la mission « pacifique et civilisatrice » de la France. Par contraste, l'École polytechnique représentera les ajustements qui doivent être apportés à ces idéaux à la suite de la guerre, notamment un investissement profond dans le développement de nouvelles applications des sciences pour l'industrie ou la guerre.

Dans les années 1920, les jeunes gens qui formeront plus tard Bourbaki sont abreuvés de ces discours. Quelques années plus tard, vers 1935, les membres du groupe entament la rédaction d'un nouveau traité de mathématiques très ambitieux, qu'ils veulent avant tout

abstrait et défini par les seuls besoins internes aux mathématiques. Cette vision qu'ils promeuvent de plus en plus activement dans divers écrits à destination de larges publics jusque dans les années 1970 s'oppose de front à la conception promue par leurs aînés qui avaient plutôt tendance, comme on l'a vu, à penser les mathématiques dans la continuité des sciences de la nature.

Malgré cette opposition, ils entonnent volontiers le discours de leur *alma mater*. La mort de tant de mathématiciens pendant la guerre ne semble plus rien d'autre qu'un immense gâchis ; dorénavant, le but de la génération montante paraît clair : ils se doivent avant tout à la recherche mathématique pure. Les récits à propos des mathématiciens morts au combat, même si les membres de Bourbaki choisissent de ne pas s'en souvenir, ont rempli leur rôle : alors même que la recherche militaire est fortement promue par l'État, un large espace pour une science pure, neutre, s'est ouvert pour eux. C'est là, sans aucun doute, l'une des conséquences les plus durables de cette terrible guerre. ■

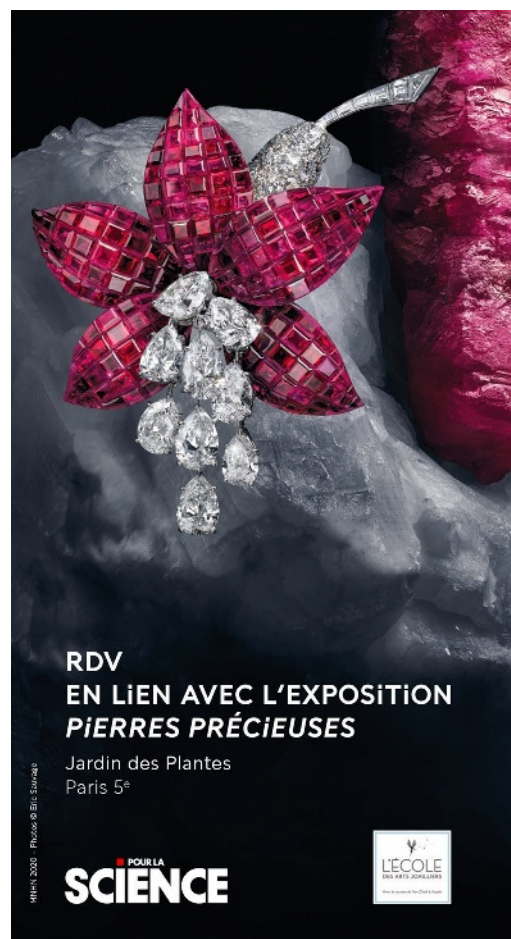
BIBLIOGRAPHIE

D. Aubin, **L'Élite sous la mitraille**, Rue d'Ulm, 2018.

D. Aubin et C. Goldstein (éd.), **The War of Guns and Mathematics**, American Mathematical Society, 2014.

P. Painlevé, **L'École normale supérieure et la guerre**, *Revue scientifique*, vol. 54, p. 193-195, 1916.

Notices nécrologiques de normaliens morts à la guerre :
https://www.pressens.fr/client/document/aubin_notices_834.pdf



**RDV
EN LIEN AVEC L'EXPOSITION
PIERRES PRÉCIEUSES**

Jardin des Plantes
Paris 5^e

© 2020 - Photos © Eric Szwed

**POUR LA
SCIENCE**

L'ÉCOLE
DES ARTS JOAILLIERS

RENCONTRES

AUDITORIUM DE LA GRANDE GALERIE DE L'ÉVOLUTION

5 décembre de 15h à 17h

La langue des pierres : surréalisme et nature

Avec : Emilie Frémond, Maître de conférences en Littérature française - Université Sorbonne Nouvelle - Paris

14 décembre de 19h à 20h

Diamant, de la terre aux étoiles

Table-ronde animée par Emma Hollen, journaliste

Avec : Hélène Bureau, cosmochimiste, Muséum
 Eloïse Gaillou, conservatrice adjointe du musée, MINES ParisTech
 Violaine Sautter, géologue terrestre et extra-terrestre, Muséum

CONFÉRENCES

AMPHITHÉÂTRE VERNIQUET

En partenariat avec L'École des Arts Joailliers

17 décembre de 19h à 20h

À la poursuite du diamant bleu

Avec : Gislain Aucremanne, historien de l'art et professeur à L'École des Arts Joailliers
 François Farges, minéralogiste au Muséum national d'Histoire naturelle et commissaire scientifique de l'exposition « Pierres précieuses »

Entrée libre et gratuite dans la limite des places disponibles
 Réservation conseillée sur jardindesplantesdeparis.fr

Sous réserve des conditions sanitaires en vigueur à cette période.



R

ENDEZ-VOUS

P.82 Logique & calcul
 P.88 Idées de physique
 P.92 Chroniques de l'évolution
 P.96 Science & gastronomie
 P.98 À picorer

ENVOYER DES MESSAGES À RETARDEMENT

La science cryptographique étudie les moyens de livrer une information en fixant une date avant laquelle elle restera cachée et inaccessible. Un problème de mieux en mieux résolu.

L'AUTEUR



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

Le 29 mai 1875, au milieu de la nuit, Frederick Deland, caissier à la Grand Mahawie Bank, est pris en otage par quatre individus qui se sont introduits chez lui. Conduit sur place à la banque, on lui demande d'ouvrir le coffre dont les malfrats savent qu'il connaît la combinaison. Il leur explique qu'un nouveau dispositif, empêchant d'ouvrir la porte du coffre avant une heure donnée, a été installé. Les menaces ne servent à rien et les voleurs repartent bredouilles.

Ce fut le premier succès des serrures à horlogerie, devenues alors d'usage courant et dont il existe une multitude de modèles différents, que les collectionneurs s'arrachent (*voir l'encadré 1*). Les banques en utilisent toujours, mais aujourd'hui vous en trouverez aussi pour les usages individuels sous le nom, en France, de serrures et coffres «à retardement». Il existe aussi des boîtes de rangement munies de tels dispositifs pour aider les victimes d'addiction à résister à leurs démons. On peut y déposer des téléphones portables, des paquets de cigarettes, de la drogue, de la nourriture, etc., qui, tant qu'ils sont dans la boîte fermée, empêchent qu'on y accède et en abuse.

CAPSULES TEMPORELLES POUR LE MONDE NUMÉRIQUE

Et dans le monde numérique? Existe-t-il des «capsules temporelles» qui permettraient de chiffrer un message sous la forme d'un fichier informatique qu'on laisserait circuler, qu'on pourrait dupliquer et qui resterait illisible

jusqu'à une certaine date, à partir de laquelle l'information cachée deviendrait accessible? La cryptographie moderne a abordé la question et les plus anciens travaux remontent à 1993. Le problème est assez délicat et les diverses solutions proposées ne réussissent que partiellement à créer ces capsules temporelles.

Pourtant de tels mécanismes de chiffrement à retardement seraient susceptibles de nombreuses applications. En voici quelques exemples.

– Vous voulez faire un cadeau à un proche pour son anniversaire. Vous lui envoyez un message chiffré qui se libère le jour venu et dans lequel est indiqué l'endroit où est caché son cadeau, ou les données pour accéder au compte où vous lui avez laissé une somme d'argent.

– Vous êtes un lanceur d'alerte... ou un maître chanteur. Vous déposez des informations compromettantes dans un endroit secret, peut-être sur internet, que vous ne voulez rendre publiques que si l'on vous arrête ou vous assassine. Vous faites circuler l'information sur le lieu du dépôt sous la forme d'un fichier temporairement chiffré jusqu'à une date que vous avez choisie. Si vous êtes arrêté ou tué, l'information sera libérée à la date choisie et tous ceux ayant reçu le fichier sauront, sans que vous ayez à intervenir, où sont les informations que vous vouliez rendre publiques.

– Pour organiser une enchère, chaque acheteur intéressé dépose le prix qu'il est prêt à payer dans un message chiffré qui ne se libère qu'à la date de clôture des enchères. Plus généralement l'idée fonctionne pour les procédures



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