

Emmy Noether, la plus célèbre des mathématiciennes inconnues

NATACHA TRIOU : C'est l'une des grandes figures de l'algèbre moderne, pourtant elle a exercé une grande partie de sa carrière bénévolement voire dans la clandestinité. Quelle est la postérité des travaux de Emmy Noether ? Femme et juive dans l'Allemagne du début du XXe siècle, sa carrière de mathématicienne a été une bataille administrative. L'université était interdite aux femmes.

Tout au long de sa vie de scientifique, elle va naviguer entre les interdictions jusqu'au nazisme, qu'elle fuit. Elle est l'autrice d'œuvres majeures, à commencer par les théorèmes de Noether, qui émergent au moment où la relativité générale se développe et qui deviendront une pierre angulaire de la physique des particules.

Einstein l'a considérée comme l'une des plus grands génies du XXe siècle, mais aujourd'hui elle n'a peut-être pas la reconnaissance qu'elle mérite pleinement. Emmy Noether, la plus célèbre des mathématiciennes inconnues. Sylvie Benzoni-Gavage, vous êtes mathématicienne, Professeure à l'Université de Lyon 1, membre de l'Institut Camille Jordan, et ancienne Directrice de l'Institut Henri Poincaré.

Annalisa Panati, vous êtes Maître de conférences en physique mathématique au Centre de Physique Théorique du CNRS et à l'Université de Toulon, et vous êtes l'autrice de la pièce de théâtre "Emmy Noether, mathématicienne extraordinaire". Et Roger Mansuy, bonjour ! Vous êtes Professeur de mathématiques au lycée Saint-Louis, et comme il faut rendre à César ce qui appartient à César, c'est vous qui nous avez donné l'idée de faire cette émission. Merci à vous trois d'avoir accepté notre invitation et merci à vous qui nous écoutez en direct, ou à toute heure en podcast.

N'hésitez pas à vous abonner à notre fil podcast sur la Playlist de Radio France, n'hésitez pas non plus à nous suivre sur BlueSky : pour vous, nous postons de nombreuses ressources complémentaires, c'est sur notre compte @ScienceCQFD.

Quel est l'impact des travaux de Emmy Noether pour les mathématiques et pour la physique ? Quelles sont les multiples conséquences des théorèmes de Noether ? Et comment Emmy Noether a-t-elle participé au développement de l'algèbre moderne ? Nous sommes ensemble jusqu'à 17h pour répondre à ces questions. Mais on commence par notre archive du jour qui décrit le difficile parcours des femmes de science, nous sommes en 1952.

On a coutume de penser que si la femme se livre à un certain travail, et notamment un travail cérébral, elle perd quelque chose de sa féminité. Pensez-vous que cette idée soit vraie lorsqu'il s'agit du travail féminin en laboratoire ? Pensez-vous qu'un homme perd sa virilité ? Cette féminité qui se traduit surtout par un certain besoin de plaisir, et qui se manifeste extérieurement par une coquetterie plus ou moins désirée, ne me semble pas incompatible avec un fonctionnement cérébral rigoureux.

Référence : <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-science-cqfd/emmy-noether-la-plus-celebre-des-mathematiciennes-inconnues-2399643>.

Transcription en L^AT_EX : Denise Vella-Chemla, janvier 2026.

Transcription Turboscribe des sous-titres réalisés par la communauté d'Amara.org.

Si cette féminité est caractérisée par ce besoin de plaire, on pourrait craindre aussi que les hommes ne perdent ce même besoin, or le perdent-ils ? La vieille image du savant débraillé et détaché des biens de ce monde paraît bien fausse et démodée. Dans nos laboratoires, nous savons que le fait de bien choisir sa cravate, comme celui de bien choisir sa robe, n'a jamais empêché de bien observer et de bien résoudre.

Voilà un extrait de l'émission "Connaissance de l'homme" rediffusée sur la RDF en 1952. Sylvie Benzoni-Cavage, on entend qu'il reste des a priori sexistes dans cette archive. Être une femme, on imagine toute l'entrave que ça peut être pour une carrière scientifique.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, alors je ne sais pas qui est la personne qui répond.

NATALIA TRIOU : Jeanne Leschi, en effet, anthropologue et qui ne perd pas son mordant.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Voilà, elle ne perd pas son mordant. Après, c'est étonnant, comme c'est (un petit peu) aussi actuel, je veux dire, ce sont des questions qui se posent aujourd'hui. Est-ce que les mathématiciennes, qui sont malheureusement trop peu nombreuses dans les laboratoires, se sentent libres d'être comme elles veulent être ? Et ce n'est pas si évident encore aujourd'hui, beaucoup de décennies après.

NATALIA TRIOU : Annalisa Panati, votre réaction, vous aussi, à l'écoute de cette archive ?

ANNALISA PANATI : C'est sûrement... je partage l'idée de Sylvie et c'est vrai que j'étais, en étudiant surtout la vie de Noether, étonnée du nombre de fois où il est fait référence, dans la bibliographie la concernant, à son apparence physique à l'époque, ce qui normalement ne devrait avoir aucun rôle dans la vie professionnelle d'une scientifique. C'est encore un sujet dont on parle parfois, je pense que les temps ont changé, mais en étudiant la vie de Emmy Noether, c'est vraiment très étonnant, ce qu'on dit d'elle.

NATALIA TRIOU : C'est notre archive du jour qui date en effet de 1952 et pour tout vous dire, on a eu beaucoup de difficultés à trouver des archives anciennes sur Emmy Noether. Est-ce que c'est quelque chose de symptomatique de l'invisibilisation des femmes en science, peut-être Roger Mansuy, particulièrement en mathématiques ?

ROGER MANSUY : C'est effectivement exactement l'épiphénomène de l'invisibilisation, c'est-à-dire que non seulement, on oublie un peu les carrières scientifiques pendant que les femmes sont en activité, mais on oublie aussi de les célébrer a posteriori de manière posthume.

NATALIA TRIOU : Eh bien, on va continuer, on va célébrer de façon posthume cette fameuse Emmy Noether, avec d'abord le personnage, sa biographie. Emmy Noether est née en 1882 à Erlangen en Allemagne, elle est morte en 1935 aux États-Unis. Déjà, est-ce qu'on sait un peu quel est son contexte familial, Annalisa Panati ?

ANNALISA PANATI : Oui, elle est née d'une famille juive, son père était professeur de mathématiques et elle vit une enfance heureuse, dans une famille qu'elle aime et qui l'aime, elle n'a pas

de problème d'argent. Elle ne manifeste pas, en tant qu'enfant, un désir particulier de faire des mathématiques, donc elle fait des études, standards pour les femmes à l'époque, ce qu'on appelle les écoles féminines. Et c'est seulement quand elle se demande "qu'est-ce que je veux faire dans ma vie?", qu'elle manifeste le désir de devenir mathématicienne. En parallèle, elle obtient un diplôme pour devenir enseignante de langue. Et c'est là, donc, qu'elle commence à devoir se confronter avec le fait qu'il est interdit aux femmes de fréquenter l'université. On n'en sait pas beaucoup plus sur son enfance, parce qu'il n'y a pas trop de documents historiques, il n'y a pas trop de choses qui ont été écrites sur elle. Et on sait quand même que c'était quelqu'un qui aimait bien vivre, qui aimait bien danser, qui aimait bien rire, une belle personnalité je dirais.

NATALIA TRIOU : En effet, elle a fait une école municipale de jeunes filles, qui a pour objectif de former des maîtresses de maison accomplies. Elle suit parallèlement des cours particuliers de mathématiques. Il faut rappeler le contexte historique et scientifique pour les femmes de cette époque, Sylvie Benzoni-Gavage.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, elles n'ont pas le droit d'aller à l'université. Il y a quelques dates clés qui lui permettent, après ses cours particuliers, de suivre des cours à l'université d'Erlangen, si je ne dis pas de bêtises, avant que ça soit autorisé à Göttingen. Et même quand il y a des évolutions, il y a un fameux décret en 1908 qui autorise les femmes à suivre des cours, mais surtout pas à être enseignantes.

NATALIA TRIOU : Roger Mansuy ?

ROGER MANSUY : La situation allemande, elle est amusante parce qu'il y a des lenders différents avec des lois qui évoluent à des vitesses différentes. Emmy Noether, elle, est à Erlangen, où on a une situation qui est un peu privilégiée par rapport à Göttingen. À Göttingen, on a beaucoup de femmes qui viennent étudier les mathématiques, mais souvent, ce sont des étrangères qui viennent grâce à l'aide de bourses. C'est un petit déclencheur qui va aider à ce que des femmes puissent accéder à l'université en tant qu'étudiantes. Un épisode un peu drôle, qui est contemporain de Emmy Noether, pour comprendre la difficulté, il y a deux étudiantes qui préparent leur thèse en même temps qu'Emmy Noether mais à Göttingen, Klara Löbenstein et Margarethe Kahn. Et quand elles vont vouloir soutenir leur thèse, on va leur reprocher, on va essayer de leur interdire la soutenance parce qu'elles ont des CV trop proches. On a l'impression qu'on se moque de l'institution, mais elles ont des CV proches parce qu'elles ont été aux seuls endroits en Allemagne où les femmes étaient acceptées dans des cours.

NATALIA TRIOU : C'est en 1907 qu'elle va soutenir sa thèse avec les félicitations du jury. Elle va devenir la seconde mathématicienne allemande à passer son doctorat dans une université allemande. Il faut dire aussi que dans cette biographie, en 1915, on a la Première Guerre mondiale, les salles de cours d'université se vident, les tranchées se remplissent. Et là, on a deux personnages qui sont très importants dans cette histoire, c'est Hilbert et Klein, qui sont à la recherche de nouveaux talents. Et ça, ce sont deux mathématiciens qui vont véritablement la défendre, Sylvie Benzoni-Gavage.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, alors c'est effectivement apparemment Hilbert, notamment, qui défend le fait qu'elle puisse passer le diplôme après le doctorat, qui est l'habilitation. Ca existe aussi

en France aujourd’hui. C’est ce qui permet en théorie de devenir Professeure. Et ça lui est refusé en 1915, en pleine guerre. Il faudra attendre 1919, la fin de la guerre, l’évolution de la législation pour qu’elle puisse enfin passer cette habilitation, qu’elle était prête à passer en 1915 avec le soutien de Hilbert.

NATACHA TRIOU : Il va même y avoir des subterfuges dans cette histoire, Annalisa Panati.

NATACHA TRIOU : Oui, en fait, je voudrais préciser que passer l’habilitation pour les femmes à l’époque, c’était interdit. Et par contre, Hilbert et Klein, qui sont des personnalités très importantes, des mathématiciens très connus, cherchent à convaincre l’université et faire une demande au ministère pour faire une exception pour Emmy Noether. Donc le débat, à ce moment-là, ce n’est pas “Est-ce qu’il faut permettre aux femmes de pouvoir passer l’habilitation, mais est-ce qu’on doit faire une exception pour elle, Emmy Noether ?”. Et il y en a qui disent “non, on ne veut pas créer un précédent, même si elle a la même puissance intellectuelle qu’un homme.” Après, la question est différente.

NATACHA TRIOU : Je pensais à Hilbert, qui disait d’ailleurs, dans son opposition, qui proclamait : “Nous sommes une université, pas un établissement de bains”.

ANNALISA PANATI : Mais vous disiez pour les subterfuges, parce qu’en fait, l’histoire, il y a, comme vous dites, cette réunion de la faculté, dans laquelle il y a cette opposition, qu’aujourd’hui, on trouve complètement injustifiée. C’est vraiment difficile de se mettre dans l’esprit de l’époque. Hilbert, il a un moment de rage, on ne sait pas trop ce qu’il a dit, mais on sait qu’après, il a dû s’excuser pour le ton un peu trop fort. Et apparemment, il a dit : “On n’est pas dans un établissement de bains”. Et après, puisqu’il comprend qu’il n’y arrivera pas, Hilbert va parler avec le ministère, on ne sait pas ce qu’ils se sont dit. Et finalement, ils disent, on va dire que c’est Hilbert qui fait le cours, avec l’assistance de Madame Noether. Et finalement, c’est Emmy Noether qui enseigne, jusqu’aux changements politiques, qui font en sorte que les lois changent. Donc, elle a tous les droits d’obtenir cette habilitation, qu’elle obtient bien évidemment, avec félicitations du jury et de tout le monde.

NATACHA TRIOU : Pendant quatre ans, elle donne cours sous le nom de Hilbert. Et puis, en 1919, après douze ans d’enseignement bénévole, elle obtient enfin le titre de Maître de conférence en 1919. Alors, en tant que prof., Sylvie Benzoni-Gavage, elle ne faisait pas l’unanimité non plus parmi ses étudiants.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, apparemment, ses cours étaient assez clivants. En gros, il y avait les étudiants, le public qui était conquis, qui se passionnait pour ce qu’elle racontait, et qui était assez informel. André Weil, un des mathématiciens fondateurs de Bourbaki, disait que ses cours étaient désordonnés. Et par contre, ceux qui s’accrochaient, au contraire... Enfin, non, j’ai dit qu’il y en avait qui étaient passionnés, et puis les autres décrochaient et fuyaient ses cours.

NATACHA TRIOU : Roger Mansuy ?

ROGER MANSUY : Je ne vais pas critiquer les cours qui peuvent être désordonnés (*Rires*). J’ai plutôt l’impression, quand on lit les témoignages de l’époque, que les gens lui reprochent d’être trop

spontanée, de ne pas avoir un carcan dans lequel elle va se mettre dans un cours. Quand elle avait une idée en venant en cours, elle changeait un peu son cours, son organisation, et elle fournissait davantage de mathématiques, qu'elle ne fournissait vraiment de cours, habituellement.

ANNALISA PANATI : Oui, elle ne donnait pas de cours, par exemple, en première année d'études, parce qu'elle n'était pas vraiment employée par l'université. Elle ne faisait que les cours avancés. C'est vrai qu'elle cherchait à expliquer, à amener ces nouvelles méthodes dans la communauté ; elle était un leader dans toute une communauté qui cherchait de nouvelles méthodes pour prouver les choses. J'ai beaucoup aimé l'épisode dans lequel elle cherche à prouver un théorème avec cette nouvelle façon. Elle se rend compte qu'il y a une erreur, elle a un coup de rage, elle jette la craie par terre, elle commence à faire une scène, et puis elle dit : "Je vais vous expliquer l'ancienne méthode", et elle finit son cours. Je ne pense pas qu'on pourrait faire de cours comme ça aujourd'hui.

NATALIA TRIOU : Annalisa Panati, en tout cas, tout ça décrit déjà un personnage, un caractère que vous avez aussi utilisé pour écrire votre spectacle. À partir de quoi, justement, vous avez réussi à dessiner le visage de cette mathématicienne ?

ANNALISA PANATI : Mon point de départ, c'était un passage de sa personnalité qui a été décrit par son collègue Pavel Alexandrov, qui l'a décrivait de la façon suivante : il y a une phrase de Pavel Alexandrov qui disait qu'Emmy Noether avait toujours un sourire, elle souriait de toutes les injustices, quand on l'accusait. J'imagine qu'on lui faisait tout le temps des remarques désagréables, et elle riait dessus. J'imagine ce rire presque pacificateur, on dirait. Par contre, elle défendait beaucoup ses étudiants. Elle était beaucoup plus assertive en défendant les autres. Je suis partie de là, j'ai imaginé ce personnage solaire, sympathique, malgré la situation difficile qu'elle a dû vivre toute sa vie.

NATALIA TRIOU : Sylvie Benzoni-Gavage ?

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, alors il y a cette pièce, mais il y a aussi une pièce, que je pourrais signaler, qui est autrichienne, sur Emmy Noether, avec un titre un petit peu provocateur en anglais qui dit "plonger dans les maths avec Emmy Noether". Et puis il y a cette exposition qui avait été conçue à l'Institut Henri Poincaré. C'était une mathématicienne extraordinaire et c'est un mot, un adjectif, qui est même dans le titre d'un livre en anglais de David Rowe, qui a beaucoup travaillé sur l'histoire de Emmy Noether. On avait sollicité David Rowe, ainsi que Yvette Kosman-Schwarzbach, qui a contribué à démêler tous les fils autour de ces théorèmes dont on parlera plus tard. Et puis Clotilde Fermanian-Kammerer et Constanza Rojas-Molina. Toutes ces personnes ont contribué à cette exposition et il y a même un livret aussi qui est disponible sur le site de la Société Mathématique de France qui raconte un petit peu quelques aspects de la vie et des travaux de Emmy Noether.

NATALIA TRIOU : Alors ces travaux de Emmy Noether, ce théorème qui n'en est pas un mais deux, qui est fondamental en physique aujourd'hui, pourquoi l'est-il ? On vient de voir qu'assez vite, elle commence à avoir de la reconnaissance pour ses travaux, malgré le fait qu'elle ne pouvait pas légalement étudier ou être enseignante à l'université car c'était interdit pour les femmes. David Rowe, mathématicien et historien américain, écrit "Dans ses jeunes années, elle avait clairement un don pour le calcul car la tâche que Paul Gordan lui avait confiée (Paul Gordan, c'est son di-

recteur de thèse) "...La tâche que Paul Gordan lui a confiée était vraiment ardue ; il s'agissait de développer la théorie complète des invariants pour les formes ternaires du quatrième degré." (*Rires*).

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Ouh ! Là on commence à rentrer dans la technique. Donc effectivement, c'est ce travail de thèse qu'elle a ensuite elle-même dénigré. C'est quand même ce même travail qui lui a ensuite valu d'être sollicitée par Hilbert et Klein pour travailler sur une question issue de la relativité. Mais si on revient à la thèse, c'était effectivement des questions d'invariants. Alors peut-être qu'on peut essayer d'expliquer un petit peu ce dont il retournait. Donc il s'agissait de travailler déjà sur des polynômes. Alors, polynôme, peut-être avez-vous entendu parler de $x^2 + y^2$, ce sont des expressions où il y a des x , des y , éventuellement d'autres lettres, puis des puissances. Et dans ces expressions, on peut mettre des lettres en plus, qui sont plutôt les coefficients. Donc ça peut peut-être rappeler des souvenirs à ceux qui ont fait ça à l'école. Donc vous prenez $ax^2 + bxy + cy^2$ et vous vous demandez s'il y a par certaines transformations sur les xy , quelque chose qui est préservé. Donc un invariant, c'est un peu ça. Et donc il y a cette formule qui peut rappeler des souvenirs $b^2 - 4ac$, qui est un des invariants, comme ça, dans un cas vraiment simple, entre guillemets. C'est-à-dire que dans ce cas, il y a deux variables, x et y , et c'est de degré 2. Et elle, ce qu'elle a regardé, c'est, si je ne dis pas de bêtises, donc trois variables et le degré 4. C'était beaucoup plus compliqué, et de mémoire elle a réussi à calculer à la main, bien sûr, à l'époque, il n'y avait pas d'ordinateur qui pouvait le faire à sa place, 300 invariants, quelque chose comme ça.

NATALIA TRIOU : 300 invariants à la main, voilà.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Et elle a qualifié ça d'une jungle ou d'un maquis de formules. Voilà.

ANNALISA PANATI : Oui, elle a déclaré qu'elle n'était pas très fière de son travail initial. Mais moi, dans ma pièce, j'ai un peu fait le parallèle avec l'entraînement qu'on doit faire pour un sport. C'est quelque chose qu'elle a entraîné, et donc qui l'a rendue experte dans cette théorie de l'invariance. Après, elle a pu apprendre des idées nouvelles grâce à Ernst Sigismund Fischer, qui est arrivé pour remplacer Paul Gordan. Et donc, elle s'est rapproché de la nouvelle théorie d'Hilbert. Mais ça, certainement, c'est un moment important dans sa vie, parce qu'elle a entraîné sa capacité à faire des calculs ingrats, je voudrais dire.

ROGER MANSUY : J'ai toujours été rendu curieux par cette appellation de "broussaille" ou de "maquis de formules". Elle utilise même un mot allemand qui veut dire plus ou moins "fumier". À un moment, quand elle parle de sa propre thèse, j'ai voulu aller la regarder. Et donc, on a des pages et des pages. Il y a 331, je crois, invariants qui sont calculés, qui sont des pages affreuses à lire et même à comprendre aujourd'hui. Et en même temps, c'est un tour de force exceptionnel. Si c'est dans la tradition de ce que faisait son directeur de thèse avant, on est passé quand même à un échelon supérieur en termes de réussite technique.

NATALIA TRIOU : Et puis, là, on est sur ces tout premiers travaux que, comme vous dites, elle va plutôt dénigrer par la suite. Et puis, il y a ce moment important, Einstein et Noether, où, en fait, c'est au printemps 1915, Emmy Noether rentre en connaissance des travaux d'Einstein par le biais de Hilbert et Felix Klein qui sèchent. Ils sont face à une énigme et finalement, ils mettent tout ça, paf, dans les mains de Emmy Noether.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, alors c'est effectivement parce qu'elle avait fait ce travail sur les invariants. Là, il était aussi question de rechercher des invariants dans une théorie toute neuve, la Relativité Générale. La relativité générale fait suite à la relativité restreinte qui datait de 1905, mais 1915, c'est vraiment l'année de l'élaboration de la relativité générale, et l'année où Einstein a des questions à propos de l'énergie liée à la gravitation et la question est ouverte à la communauté scientifique. Alors, il y a une conjecture de Hilbert apparemment sur cette question-là et elle vient à Göttingen pour répondre à cette question. Et en fait, elle fera beaucoup plus.

ANNALISA PANATI : Oui, Einstein en 1915, donne à l'Université de Göttingen ce qu'on appellerait aujourd'hui un mini-cours. Donc, il est en contact avec Hilbert. Hilbert travaille justement, comme l'a dit Sylvie, sur cette question des invariants en relativité générale. Il faut comprendre que la relativité générale vient juste d'être inventée. Donc, lui, il a l'idée physique de base, mais il y a tout un travail mathématique à comprendre justement, les connaissances ou la théorie des invariants qui avaient été développées indépendamment, rentrent dans ce travail. Donc, Hilbert établit un contact avec Einstein. À un moment donné, il laisse Emmy Noether s'occuper des dernières questions. Et c'est elle qui sort le théorème de 1918, qu'aujourd'hui on appelle le théorème de Noether, dans lequel elle fait vraiment le lien entre le fait qu'il y a des quantités conservées et l'invariance par rapport à des groupes de transformation. C'est de cela dont parlait déjà Sylvie : par quel type de transformation certains systèmes sont-ils invariants ? C'est Emmy Noether qui fait vraiment ce lien. C'est un article qui n'est pas vraiment apprécié, enfin, il est apprécié par Einstein, mais il ne lui vaut pas la gloire pendant sa vie. C'est après, avec le développement de théories physiques, que cette façon de lier la quantité invariante aux symétries du système devient de plus en plus importante dans la physique. Et donc maintenant, on considère ce théorème extrêmement important dans la physique mathématique.

NATALIA TRIOU : En tout cas, Einstein, qui découvre cet article de Emmy Noether, écrit à Hilbert, il écrit "Je suis impressionné que l'on puisse considérer ces choses d'un point de vue si général. Cela ne ferait pas de mal aux troupes de retour à Göttingen, après le champ de bataille, de suivre les cours de Mademoiselle Noether : elle semble très bien connaître son affaire.".

ROGER MANSUY : Alors, ces mots très flatteurs d'Einstein sont fantastiques. On aurait peut-être apprécié qu'il la cite un peu plus, par la suite, dans ses travaux de recherche, parce qu'une partie de son invisibilisation et du fait que ces théorèmes n'ont pas eu cette notoriété tout de suite, c'est que peu de gens l'ont réellement citée, à ce moment-là. On la trouve un petit peu dans, je crois, le livre de Courant et Hilbert, à ce moment-là. Mais Einstein ne va pas être très généreux dans ses attributions. D'autres vont utiliser ses résultats ou les minimiser. On va attribuer à Hilbert, qui avait émis une conjecture effectivement, qui avait un premier cas particulier. On va un peu oublier son rôle pendant quelques temps, et Einstein n'est pas étranger à ça.

ANNALISA PANATI : Mais Einstein, d'ailleurs, avait un peu l'habitude de ne pas citer tout le monde. En France, il y a eu un grand débat entre Einstein et Poincaré.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : On en parlera dans une autre émission.

NATACHA TRIOU : Pour revenir à notre Emmy Noether, les deux théorèmes sont donc liés, ils ont tous les deux contribué à la résolution de la question de la conservation de l'énergie, dans la théorie de la relativité générale. Sylvie Benzoni-Gavage, quelles sont les différences finalement entre le premier et le second théorème ?

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Ouh là, on va entrer aussi dans des choses assez pointues. C'est vrai que l'histoire de cet article est quand même très étonnante. Je vais essayer de répondre ensuite à la question sur les deux théorèmes mais très vite, il y a quand même une généralisation qui est faite par Erich Bessel-Hagen, qui était un mathématicien allemand. C'est un peu le seul, je pense, qui s'intéresse à ça. L'article, apparemment, est oublié. Elle-même l'a un peu oublié, elle ne sait même plus quelle année exactement il a été publié. Elle est passée à autre chose ensuite. Elle a vraiment fait de l'algèbre pure.

Ce qui est très intéressant, c'est que cet article, c'est vraiment le premier qui montre ce que van der Waerden, le mathématicien néerlandais, cette fois, qualifiait de devise de Emmy Noether. Une façon de faire très originale où elle abandonne les objets particuliers, par exemple les choses qu'elle avait faites pendant sa thèse, pour définir des concepts abstraits et universels. C'est vraiment ce qu'elle a fait dans cet article de 1918, où il y avait des travaux précurseurs. Ces questions d'invariance et de loi de conservation étaient connues en mécanique classique, par exemple, et puis même en mécanique relativiste, il y avait des choses. Et elle, elle s'est élevée au-dessus de ça, pour vraiment prendre un point de vue très général. Mais très général, quand même dans un cadre qui est ce qu'on appelle les problèmes variationnels. Le principe variationnel, c'est devenu quelque chose de très important en physique.

NATACHA TRIOU : Vous avez un bon exemple pour illustrer ce principe.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Un exemple, un des problèmes variationnels qu'on cite très facilement, c'est le plus court chemin entre deux points. Intuitivement, on se dit que c'est la ligne droite. Mais si vous avez déjà voyagé en avion, que vous avez vu la représentation sur le globe terrestre, vous n'avez pas trop l'impression que c'est une ligne droite. C'est parce que la Terre n'est pas tout à fait plate. C'est un des premiers problèmes variationnels. Mais ce qu'elle regarde, ce sont des problèmes beaucoup plus abstraits et généraux. Et à cette époque-là, il n'est pas clair que la physique soit régie par des principes variationnels. Si j'ai bien compris, le seul à y croire vraiment, à ce moment-là, c'est Hilbert. Et Einstein est sceptique. Donc elle prend ce cadre, elle décide de prendre ce cadre variationnel pour essayer de vraiment formaliser le lien qu'il y a entre les propriétés d'invariance et les lois de conservation. Ça, c'est le truc général. Et maintenant, pourquoi il y a deux théorèmes ? Les propriétés d'invariance, on dit aussi des symétries, mais il faut savoir que ce ne sont pas les symétries qu'on a l'habitude d'apprendre à l'école, où on regarde une symétrie-miroir, par exemple, ce sont des choses plus générales, qui sont un petit peu comme si on fait un tour, si on regarde un tourniquet, on fait tourner, on regarde des rotations, par exemple. Et il y a un paramètre qui n'est pas juste un miroir, 0 ou 1 quoi. Et il y a des groupes de transformation, Annalisa a cité le mot, qui sont plus ou moins compliqués. Certains qui sont dits, disons, finis. Et c'est son premier théorème qui concerne ces groupes-là. Et le deuxième concerne des groupes plus compliqués encore, non seulement infinis, mais de dimensions infinies. Et c'est ça qui est important en relativité générale, c'est le deuxième théorème.

NATACHA TRIOU : Ces travaux vont éclairer, comme vous l'avez dit, des résultats connus en mécanique classique. Et très rapidement, ça a aussi été utile en mécanique quantique. Roger Mansuy, quelles ont été les applications, l'importance de ces théorèmes pour les physiciens ?

ROGER MANSUY : Alors en mécanique quantique, je vais avoir du mal à répondre directement. En fait, ce qu'il faut comprendre dans l'énoncé du théorème, c'est qu'on part de ces symétries, de ces choses qui sont invariantes dans la façon dont est gouverné le système, et on en déduit des choses qui sont conservées. Quand on commence la physique, on a de la conservation de l'énergie, de la conservation du moment cinétique, on a des choses qui sont conservées. Et connaître ces choses qui sont conservées, ça permet de faire des calculs, ça permet de simplifier le système pour pouvoir trouver des solutions.

Et donc, plus on connaît les symétries du système au départ, plus on a de quantités invariantes, plus on a d'outils pour pouvoir résoudre des choses qu'on ne sait pas résoudre a priori.

ANNALISA PANATI : Et ça, c'est le point de vue dont je parlais tout à l'heure, c'est un point de vue qu'après, avec le développement de la physique, donc aussi avec la théorie de Yang-Mills, on cherche justement à regarder par quel type de transformation cette théorie est invariante et selon la théorie qu'on regarde, on cherche toujours des groupes de symétrie et des invariants pour simplifier, pour pouvoir résoudre les équations. Mais maintenant, c'est devenu une façon de penser. C'est ça qu'on pourrait dire, je dirais, dans toutes les branches de la physique.

NATACHA TRIOU : C'est un théorème qui, sur le moment, n'a pas trop de succès. À l'époque, on ne comprenait pas à quel point c'était quelque chose de fondamental. Mais il a été réévalué ensuite dans les années 50-60. Quelle est sa postérité et comment, à partir des années 20, Emmy Noether va-t-elle entrer dans la deuxième partie de sa carrière, pendant laquelle elle travaille en algèbre moderne ? On vient de voir que les deux théorèmes de Noether sont liés et ont tous contribué à la résolution de la question de la conservation de l'énergie dans la théorie de la relativité générale. Sylvie Benzoni-Gavage, quelle est plutôt la suite, l'histoire et la postérité de ces théorèmes dans l'histoire des sciences ?

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Alors, si j'ai bien compris, pendant, disons, trois décennies, le premier théorème a été ignoré, y compris par Emmy Noether elle-même. Et ensuite, il y a un physicien théoricien du nom d'Edward Lee Hill qui a ressorti, en fait, ce théorème, le premier, dans une version simplifiée. Et cet article a eu un fort impact dans la communauté de physique théorique, et tout le monde s'est emparé de ça en disant "C'est super !" et s'est mis à *re-découvrir*, en pensant *découvrir*, des propriétés, des relations entre les symétries et les lois de conservation dans différents contextes, alors que tout était déjà tout dans l'article de Noether.

NATACHA TRIOU : Et puis, en effet, cet article, ce théorème qui est repris, utilisé par les scientifiques de Los Alamos dans les années 50, il y a aussi cette...

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, alors ça, c'est peut-être un raccourci, en fait, en préparant l'émission, j'ai mentionné Los Alamos parce qu'il y a eu ces expériences de physique atomique et surtout

les premiers calculs avec les premiers ordinateurs de physique atomique, qui ont donné des solutions inattendues, et qui ont redonné, comment dire, une importance à une équation qui avait été, elle aussi, oubliée depuis le XIXe siècle, qui s'appelle l'équation de Korteweg-De Vries, qui admet des solutions particulières qu'on appelle des solitons. Et en fait, c'est notamment un mathématicien qui s'appelle Peter (J.) Olver qui a contribué à expliquer pourquoi le théorème de Noether, même dans sa première version, expliquait la théorie des solitons où il y a énormément, tellement énormément qu'en fait il y a une infinité de lois de conservation pour l'équation de Korteweg-De Vries, et ça, ça vient du théorème de Noether, dans une version qu'elle n'avait pas elle-même fournie, mais en tout cas avec les symétries dites généralisées, qu'elle avait déjà considérées.

NATACHA TRIOU : En tout cas, une des applications de ce théorème, c'est aussi quelque chose que l'on voit donc en physique des particules et notamment pour le modèle standard de la physique des particules, ce qui va permettre de comprendre l'interaction forte, l'interaction faible, qui va entraîner le développement de la chromo-dynamique quantique, donc on voit bien toute l'importance théorique en termes d'application. Est-ce que quand on regarde justement toutes les applications fondamentales, pratiques des travaux mathématiques d'Emmy Noether, Annalisa Panati, est-ce qu'on peut dire que finalement, elle est mathématicienne ou bien est-elle physicienne ?

ANNALISA PANATI : Non, non, elle est mathématicienne, elle a toujours été mathématicienne, son théorème, comme je le disais tout à l'heure, contient tout, mais aussi parce que c'est un théorème très très abstrait, je pense un peu illisible maintenant ; maintenant, on l'enseigne de façon plus concrète et je dirais plus simple, en une version simplifiée, donc je pense qu'elle était vraiment intéressée par la structure algébrique de ces problèmes, et qui, après, a été comprise dans l'histoire de la physique, mais elle était mathématicienne.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : C'est vraiment Peter Olver qui a expliqué toute la profondeur, décorqué tout ce que signifiaient ces deux théorèmes.

ROGER MANSUY : Alors, clairement, je répondrai aussi qu'Emmy Noether est une mathématicienne ; en revanche, les frontières entre les deux disciplines, elles, ne sont pas si nette ; de manière générale, on dit mathématicienne parce qu'elle a ce point de vue généralisant, ce point de vue d'abstraction où on part d'une relation concrète, et on ne la comprend que quand on a enlevé tout ce qui était particulier, mais est-ce que vraiment la distinction entre physique et mathématiques est si claire que ça, entre des physiciens-théoriciens ou des mathématiciens appliqués, est-ce qu'on voit une vraie différence ? C'est plus un aspect un peu philosophique et la façon dont on aborde un objet d'étude.

NATACHA TRIOU : C'est à partir de 1920 qu'elle développe sa deuxième carrière ; dans sa deuxième partie de carrière, elle développe la théorie des anneaux et de l'algèbre moderne.

“Je crois qu’ensuite, la plus importante mathématicienne, c’est au XXe siècle, Emmy Noether, qui est vraiment la “mère de l’algèbre moderne”, on peut dire, puisqu’elle a travaillé avec Hilbert, un des plus grands mathématiciens du début du siècle, qui a défini un programme pratiquement pour tout le XXe siècle, et Emmy Noether, à Göttingen, a eu une œuvre importante.

Elle était elle-même fille de mathématicien, bon, ça aide, elle a pourtant eu, et c’était plus d’un siècle après Sophie Germain, beaucoup de difficultés. Elle n’a jamais pu être Professeure d’université avec un salaire, même quand elle a donné des cours, c’étaient des cours qu’elle donnait, on peut dire bénévolement, sans avoir un véritable statut, un véritable poste, et pourtant elle est considérée comme vraiment une des grandes figures des mathématiques axiomatiques et modernes d’aujourd’hui”.

NATALIA TRIOU : Voilà, un extrait des Nuits magnétiques sur France Culture en 1989, et la voix d’Amy Dahan, historienne des mathématiques. Sylvie Benzoni-Gavage, on l’entend dire “mère de l’algèbre moderne”, est-ce que l’expression est galvaudée ?

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Alors apparemment, cette expression a été employée par les jeunes qui l’ont cotoyée, parce que Emmy Noether a eu une influence et un impact considérable auprès des jeunes qui allaient à Göttingen avec des bourses et autres pour écouter ses cours, et même quand ils refusaient, comme André Weil apparemment, d’écouter ses cours, ils discutaient avec les autres et ils en retiraient quelque chose, et Weil lui-même dit que c’est comme ça qu’il s’est initié à ce qu’on commençait à appeler l’algèbre moderne.

NATALIA TRIOU : C'est-à-dire qu'en fait, on est à la fin du XIXe siècle, au début du XXe siècle, on voit un énorme changement dans la méthodologie des mathématiques, l'algèbre abstraite a émergé autour du début du XXe siècle, Roger Mansuy, c'est ça ?

ROGER MANSUY : Alors, oui, oui, enfin, la partie dont parle Emmy Noether, c'est-à-dire celle dans laquelle on parle d'“anneau”, d'“idéal”, ce sont des mots qu'on utilise en mathématiques, elle naît de la théorie des nombres de Dedekind, elle dira même à un moment, ce qui contribue à minimiser son propre travail, que tout est dans Dedekind, ou presque, elle arrive à un moment où on a traité suffisamment d'exemples, suffisamment de cas particuliers pour pouvoir comprendre un peu mieux. Et un peu comme on le disait tout à l'heure, son idée d'abstraire les choses, de comprendre en profondeur, de se dire que ce ne sont plus des nombres, ou que ce ne sont plus des polynômes, mais que ça va être des relations qui sont à l'intérieur et qui entraînent d'autres propriétés. Donc c'est en ce sens-là, qu'elle est à la naissance de l'algèbre moderne, mais aussi d'une façon de faire cette algèbre moderne.

NATALIA TRIOU : Annalisa Panati, pourquoi justement Emmy Noether participe-t-elle à cette transition de l'algèbre ancienne vers l'algèbre moderne ?

ANNALISA PANATI : Oui, alors, ce que je voudrais bien expliquer, c'est que c'est un processus collectif, une transition dans la façon de penser en mathématiques. Peut-être que certains mettent

le point de départ de cette transition dans l'œuvre d'Évariste Galois, parce qu'avant, l'algèbre, c'était trouver des solutions pour des équations comme $x^2 + x - 1 = 0$, ou, comme disait Sylvie, il s'agissait de trouver les racines de polynômes. Et là, c'est Évariste Galois qui fait le lien entre trouver ces solutions et un autre objet qu'aujourd'hui on appelle le groupe de Galois. Donc, à la place de regarder une équation à la fois, on regarde certaines structures, donc des ensembles avec une somme, une opération, donc on regarde toutes ces structures abstraites et on regarde les propriétés de ces structures. Donc, c'est un passage qu'ont fait le travail de Galois, repris par Dedekind, puis Noether, et puis je dirais que c'est un processus qui finit avec l'école Bourbaki, ici en France, voilà.

NATALIA TRIOU : Sylvie Benzoni-Gavage, Emmy Noether a aussi écrit un ouvrage qui s'appelle "Algèbre moderne" d'ailleurs.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Alors oui, ça c'est une confusion en fait, c'est van der Waerden qui a écrit cet ouvrage, mais d'après les cours d'Emmy Noether et d'Emil Artin, vraiment très imprégnés du coup par ce qu'elle enseignait à Göttingen.

ROGER MANSUY : Ce livre a été vraiment fondamental pour beaucoup de monde, il a été lu, relu, réédité, et on a fini par questionner un peu van der Waerden sur ses sources. Et dans les années 70, il a écrit un article où il explique ses sources : il explique à quel point au départ, ça devait être un projet avec Emil Artin, dont il avait aussi suivi les cours, et il explique chapitre après chapitre de quoi il s'est inspiré, et en particulier le cours de Noether qu'il a suivi à l'hiver 1924-1925, est la source essentielle pour le deuxième volume de ce livre.

NATALIA TRIOU : Oui c'est ça, sauf que ça a été un véritable succès, on voit ce livre encore 100 ans plus tard, il est dans les bibliothèques universitaires.

ROGER MANSUY : Alors c'est un livre qui a été effectivement un très grand succès, on ne peut pas retirer tout le mérite à van der Waerden ; il a visiblement fait un vrai travail de présentation, ce qui n'était pas le fort du cours de départ. Et il n'a pas caché complètement le fait que ça venait d'Emmy Noether et d'Emil Artin.

NATALIA TRIOU : Sylvie Benzoni-Gavage, sur justement ces travaux qui concernent l'algèbre moderne ; ces travaux, vous nous le disiez, ont permis de généraliser beaucoup de choses.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, comme le disait Roger, et puis Annalisa, a vraiment émergé l'idée de structure algébrique, donc il y a la notion de groupe qui remonte à Galois, qui vient effectivement de la généralisation de ce qu'on sait faire sur les ... (on peut penser aux nombres positifs et négatifs) qu'on sait ajouter, soustraire, et puis il y a le nombre zéro, mais c'est une version très très simple des groupes, parce qu'il y a des groupes plus intéressants, si on pense aux manipulations qu'on peut faire sur le Rubik's Cube, tout de suite c'est plus parlant, en termes de mouvements, et puis d'autres structures, et dans les travaux d'Emmy Noether, il y a ces fameux idéaux, qui sont liés à la notion d'anneau. Ce sont tous des mots, c'est assez frappant, des mots qui viennent du langage courant. Groupe, anneau, idéal, corps aussi, il y a la notion de corps en mathématiques, et tout ça, maintenant, fait partie du bagage des sciences mathématiques et on apprend ça en licence de mathématiques.

NATALIA TRIOU : L'anneau, en effet, en mathématiques, est une des structures algébriques fondamentales de l'algèbre moderne. Il y a l'anneau noethérien, c'est un cas particulier d'anneau, Roger Mansuy.

ROGER MANSUY : Alors, effectivement. Un anneau, c'est essentiellement un ensemble avec deux opérations, un peu comme l'addition et la multiplication, qui ont les propriétés qu'on imagine et qu'on apprend en primaire. Sauf que c'est plus forcément l'addition des entiers et la multiplication des entiers. À l'intérieur, quand on a un anneau, comme les entiers, on peut regarder des ensembles particuliers. L'exemple prototypique, c'est, on se prend un entier et on regarde ses multiples. Les multiples de 20, c'est un ensemble, c'est un idéal. On peut chercher un nombre qui divise 20 ? Par exemple 10. L'ensemble des multiples de 10, c'est un idéal plus grand. Et Emmy Noether va regarder une propriété, c'est "est-ce qu'on peut avoir des idéaux qui s'enchaînent, qui s'emboîtent les uns dans les autres ?", et "est-ce qu'on peut s'assurer qu'à chaque fois qu'on fasse une chaîne comme ça, ça s'arrête ?". C'est un peu compliqué, c'est un peu abstrait, mais c'est lié au départ à l'idée de divisibilité qu'on a sur les entiers, sauf qu'elle le prend, évidemment, comme toujours, dans un cadre plus général. Quand on a cette propriété-là, on a quelque chose qui est noethérien, et c'est la propriété qui va porter son nom, qui est la plus célèbre dans les cours de mathématiques qui porte son nom.

NATALIA TRIOU : Il y a une anecdote amusante aussi, c'est quand Emmy Noether arrive avec sa notion d'anneau noethérien, ça remplace une autre notion à l'époque...

ROGER MANSUY : Les anneaux laskériens. C'est assez amusant, parce qu'Emanuel Lasker, c'est un mathématicien, beaucoup moins célèbre qu'Emmy Noether en tant que mathématicien, mais très célèbre parce qu'il a été champion du monde d'échecs, et qu'il a gardé la couronne d'échecs pendant 27 ans, je crois. Et en 1921, le pauvre Emanuel Lasker perd son titre de champion du monde, et sa notion d'anneau laskérien est remplacée par celle qui est beaucoup plus profonde, beaucoup plus riche, d'anneau noethérien : la même année, il perd à la fois son mérite aux échecs, son mérite en mathématiques, mais ce n'est pas grave. C'est le jeu en fait, aussi bien dans la compétition des échecs, de se faire battre un jour, que dans les mathématiques, de voir les notions qui s'agrandissent, qui fleurissent de plus en plus.

ROGER MANSUY : J'aime beaucoup cette anecdote. Annalisa Panati, vous nous avez dit, pour préparer cette émission, en pré-interview comme on dit, vous nous avez dit qu'elle voyait les choses d'une manière très élégante en mathématiques, elle avait une manière de faire des maths qui est très élégante. Qu'est-ce que c'est, justement, cette élégance des mathématiques chez Emmy Noether ?

ANNALISA PANATI : Alors, ça c'est un concept un peu particulier à expliquer, mais je pense que c'est dans ces passages dans lesquels on introduit la notion de structure, donc on cherche vraiment à comprendre quelle est la structure qu'il y a derrière un certain objet mathématique et comment les structures sont liées entre elles. C'est une façon de comprendre, que je dirais, en mathématiques, on appelle une façon élégante de comprendre. Alors que tout à l'heure, on parlait de sa thèse qui était un tas de calculs l'un après l'autre. Parfois dans ma communauté, on dit que c'est une preuve par force brute, donc on fait beaucoup de calculs. Alors, on remplace ces calculs, beaucoup de calculs,

que parfois il faut faire, parce qu'on ne peut pas l'éviter, par le fait de réussir à lier deux concepts différents, de voir qu'il y a deux structures, on identifie deux structures qui après ont une relation, donc ça, c'est considéré comme une façon très élégante et très claire de faire les choses. Je pense qu'un exemple, c'est le théorème de Noether, en physique, qu'on a regardé tout à l'heure.

NATACHA TRIOU : Sylvie Benzoni-Gavage, vous partagez cette façon de voir ?

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, tout à fait. Je vous le disais, au début, elle est vraiment extraordinaire par plein d'aspects et cet aspect-là, effectivement, c'est sa méthode originale, sa façon de pratiquer les mathématiques.

NATACHA TRIOU : Alors, quelle est la suite de sa vie ? Quelle est sa postérité ? Et sa notoriété, est-elle donc à la mesure de ses mathématiques que l'on a à notre disposition pour analyse ? On a parlé de ses travaux scientifiques. Elle est connue en mathématiques, en physique mathématique, en physique, elle est surtout connue pour son travail sur les invariants et en particulier son travail sur la relativité générale. On a évoqué en début d'émission son parcours, sa biographie. Annalisa Panati, on arrive en 1928, Emmy Noether séjourne à Moscou, où elle travaille donc avec Pavel Alexandrov.

ANNALISA PANATI : Oui, elle est invitée par Pavel Alexandrov, qui avait visité Göttingen quelques années avant, donc ils se rencontrent, ils ont une très bonne entente scientifique, donc elle est invitée en Russie où elle passe une année. On dit que les amphithéâtres étaient pleins, parce qu'elle était précédée par sa renommée.

NATACHA TRIOU : Oui, ça dit aussi, ces voyages comme ça, ça montre qu'elle est invitée comme mathématicienne, ça veut dire aussi qu'on voit une reconnaissance qui grimpe au fur et à mesure, Sylvie Benzoni-Gavage.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, on dit que c'est l'apogée de sa carrière, à ce moment-là, effectivement. Après, c'est vrai qu'elle avait, je ne sais pas d'ailleurs en quelle langue elle s'exprimait à Moscou, puisqu'elle avait un diplôme de français, un diplôme d'anglais mais apparemment pas grand monde l'avait entendu parler français ou anglais. Et elle était plus attirée par l'Union Soviétique que par les États-Unis, où elle a fini par émigrer, comme on le dira peut-être après.

NATACHA TRIOU : Oui, parce que ce voyage en effet, ça lui attire de nombreux ennuis à son retour en Allemagne, on lui reproche une sympathie pour la révolution soviétique et puis elle va devoir en effet fuir aux États-Unis. Roger Mansuy, il faut noter, on a catégorisé deux grandes parties dans ses travaux. Il y a une troisième partie qui concerne les systèmes hyper-complexes.

ROGER MANSUY : C'est quelque chose qu'on n'appelle plus comme ça aujourd'hui. On parle plutôt d'"algèbre", encore une structure, cette fois-ci, il s'agit du concept d'algèbre. C'est un cheminement assez progressif, elle ne se dit pas un jour "je vais changer de sujet de recherche". Elle va aller vers quelque chose qui est non commutatif, c'est-à-dire qu'on va arrêter de regarder des opérations où A fois B , c'est B fois A , techniquement. Et c'est la dernière partie de sa carrière, la plus courte aussi parce qu'on avance vers une fin tragique. Mais c'est aussi celle où elle commence à être très

célèbre. Par exemple, elle est invitée au Congrès international des mathématiciens de Zurich en 1932. C'est la première fois qu'une femme a l'occasion de s'exprimer en conférence plénière. Il y a toujours eu des femmes aux Congrès internationaux, depuis le départ. Il y a eu des femmes invitées à parler dans des domaines spécialisés, mais c'est la première fois qu'une femme donne une conférence plénière, Emmy Noether reçoit un prix international avec un de ses collègues. C'est le moment du sommet de sa célébrité, qui est aussi le moment où elle bascule vers un autre champ, qui va se développer, malheureusement sans elle, puisqu'elle va disparaître avant d'avoir fait toutes les avancées qu'on aurait pu attendre d'elle.

NATACHA TRIOU : Oui, ce Congrès, c'est là où désormais on distribue la médaille Fields.

ROGER MANSUY : C'est là où on distribue la médaille Fields. Alors, en 1932, on n'en distribue pas encore. C'est l'année 1936 qui sera l'année où, pour la première fois, on en distribuera, et malheureusement Emmy Noether sera morte. Un petit point de détail, je le disais tout à l'heure, c'était la première femme à être conférencière plénière en 1932, pour montrer un peu le sexism et le manque de parité dans notre communauté. La suivante sera Karen Uhlenbeck en 1990, 58 ans plus tard. C'est à la fois quelque chose où on montre qu'elle est vraiment importante, qu'elle est vraiment reconnue par la communauté, mais elle est aussi complètement exceptionnelle par rapport au traitement des autres femmes mathématiciennes de l'époque.

NATACHA TRIOU : En 1933, le 25 avril, les nazis ont promulgué une loi qui interdit aux juifs d'enseigner. Elle est licenciée, avec 194 autres professeurs d'université. Ironiquement, c'est l'unique fois où Emmy Noether sera traitée d'égale à égal avec ses collègues masculins et donc elle fuit, aux États-Unis assez rapidement. En 1935, on lui diagnostique une tumeur, elle est opérée. On pense que ça va mieux, mais non, elle décède quelques jours plus tard, le 14 avril 1935.

Albert Einstein écrit une lettre, la voici.

“De la vie des mathématiciens vivants les plus compétents, Mademoiselle Noether était le génie mathématique créatif le plus important qui ait existé depuis le début de l'enseignement supérieur pour les femmes. Dans le domaine de l'algèbre, dans lequel les mathématiciens les plus talentueux ont travaillé pendant des siècles, elle a découvert des méthodes qui se sont révélées d'une importance énorme pour le développement de la génération actuelle de jeunes mathématiciens.

Les mathématiques pures sont à leur manière la poésie des idées logiques. Née dans une famille juive, qui se distinguait par son amour de l'apprentissage, Emmy Noether, malgré les efforts du grand mathématicien Hilbert de Göttingen, n'a jamais atteint le niveau académique qu'elle méritait dans son propre pays ; elle s'est néanmoins entourée d'un groupe d'étudiants et de chercheurs à Göttingen qui sont devenus d'éménents enseignants et chercheurs.

Son travail désintéressé et utile pendant de nombreuses années a été récompensé par les nouveaux dirigeants de l'Allemagne par un licenciement, ce qui lui a coûté ses revenus pour maintenir son style de vie simple et la possibilité de poursuivre ses études de mathématiques.

Ses amis scientifiques visionnaires dans ce pays, les États-Unis, ont eu la chance de pouvoir faire les démarches nécessaires auprès du Bryn Mawr College et de l'Université de Princeton pour qu'elle trouve aux États-Unis, jusqu'au jour de sa mort, non seulement des collègues qui appréciaient son amitié, mais aussi des élèves reconnaissants, dont l'enthousiasme a fait de ces dernières années les plus heureuses et peut-être les plus fructueuses de toute sa carrière.

Voilà la lettre d'Albert Einstein qu'il écrit le 1er mai 1935 et qui est publiée dans le New York Times. Roger Mansuy, une réaction à l'écoute de cette lettre ?

ROGER MANSUY : Alors, c'est très bien qu'Einstein fasse l'effort de reconnaître le mérite d'Emmy Noether. On n'oublie pas, en même temps, que quand elle émigre aux États-Unis, Einstein comme d'autres réussissent à avoir des postes dans des universités très prestigieuses comme Princeton, alors qu'Emmy Noether devra se rabattre vers une université qui est prestigieuse et qui est intéressante, mais qui est une université féminine, qui est le Bryn Mawr College. Donc certes, tout le monde dit qu'elle est merveilleuse, qu'elle est fantastique, mais peu lui ont tendu la main suffisamment quand elle avait besoin d'un poste aux États-Unis.

NATACHA TRIOU : Et puis on la considère comme un génie qu'à travers les affirmations d'un autre scientifique, ce qui est quand même aussi un peu questionnable, Annalisa Panati.

ANNALISA PANATI : Oui, il faut quand même dire que c'est Einstein qui a insisté pour qu'il y ait un article sur elle dans le New York Times, parce qu'il a dit que c'était un scandale, qu'ils aient mis juste la date de sa mort, et il prend quand même l'initiative d'écrire quelque chose sur elle. Après, je trouve que c'est beau la description de sa personnalité, mais peut-être qu'il n'est pas clair, dans cette lettre, qu'elle était le leader d'une école. On qualifie souvent Emmy Noether comme étant "la femme mathématicienne la plus importante depuis que les femmes ont accès aux études", mais je pense que ce n'est pas assez, elle était vraiment la leader d'une école de mathématiques.

NATACHA TRIOU : Sylvie Benzoni-Gavage, au musée des mathématiques, à l'Institut Henri Poincaré à Paris, on a des portraits de mathématiciens, de mathématiciennes, on a aussi celui de Emmy Noether.

SYLVIE BENZONI-GAVAGE : Oui, tout à fait. On a mis quatre grands portraits de personnalités du XXe siècle, que la plupart des gens reconnaissent, sauf elle en fait, alors que c'est quand même une mathématicienne dont on retrouve le nom dans plein de théorèmes et elle a aussi son adjectif, ça, c'est quand même très chic.

NATACHA TRIOU : Merci de nous avoir accompagnés tous les trois tout au long de cette heure. Merci Sylvie Benzoni-Gavage, merci Annalisa Panati, merci Roger Mansuy. C'était ce qu'il fallait démontrer¹ ce jour.

1. Le titre de la série radiophonique est "LA SCIENCE CQFD" et CQFD sont les initiales de "ce qu'il fallait démontrer"; il y eut un temps où on trouvait les lettres QED pour en latin "*Quod erat demonstrandum*" pour signifier, dans un texte mathématique, qu'on venait de terminer une démonstration. Puis vinrent des symboles pour dire la même chose : la barre verticale noire, le carré noir, le carré blanc, qui s'obtient grâce au symbole "backslash square" (\square) en L^AT_EX.).