FEMMES DE SCIENCES

L’ENS célèbre les femmes de science à travers l’exposition de douze portraits de scientifiques talentueuses et inspirantes. Informaticiennes, physiciennes, chimistes, mathématiciennes, spécialistes de géosciences ou de sciences cognitives ou encore biologistes : elles ont fait avancer la science et inspirent aujourd’hui encore des générations de chercheuses et de chercheurs.

«*Une exposition qui rappelle la place des femmes dans l'histoire scientifique. Des femmes trop souvent restées invisibles, des femmes aujourd'hui encore minoritaires dans les métiers de la recherche scientifique. Pour faire avancer la recherche au meilleur niveau, il est indispensable de mobiliser l'ensemble des talents : nous avons besoin des femmes ! Tant que notre communauté scientifique restera non-paritaire, nous nous priverons d'une partie des talents*».

Anne Christophe
Directrice adjointe Sciences de l’ENS

JANE GOODALL

Éthologue 1934

De l'Angleterre à l'Afrique

Née à Londres, en Angleterre, Jane Goodall tombe amoureuse de la vie sauvage très tôt. Ses parents n'ont pas les moyens de lui payer des études. Elle devient alors secrétaire. En 1957, invitée au Kenya par une amie, elle y rencontre, à l'âge de 23 ans, le docteur Louis Leakey, archéologue et paléontologue célèbre qui effectue d'importantes fouilles dans la Corne de l'Afrique. Elle devient son assistante, et l'accompagne sur des fouilles archéologiques en Tanzanie. Ils étudient les fossiles d'anciens primates, puis les chimpanzés sauvages. Leakey propose alors à Jane de mener une longue étude de terrain, étant convaincu que Jane saurait s'adapter et qu'elle avait le tempérament adéquat à un isolement à long terme.

La vie avec les chimpanzés

Pour s'intégrer dans le monde des chimpanzés, Jane s'est énormément investie. En vivant avec eux, elle fit de nombreuses découvertes. Pour extraire des termites de la terre, les chimpanzés choisissaient la branche la plus fine et la plus solide d'un arbre, à laquelle ils enlevaient toutes les feuilles, pour pouvoir attraper les termites. Le chimpanzé fabrique et utilise des outils comme l'humain. Jane fut la témoin d'une situation qui allait changer le rapport homme-animal. C'est de cette observation qu'est née la pensée que les chimpanzés sont les « cousins » des humains, nos semblables. Jane observa de nombreux points communs entre les humains et ces primates. Chez les chimpanzés, les liens entre membres d'une même famille sont forts et le restent tout le long de leur vie. Toutes ces années de recherche ont amené à de grandes découvertes sur les chimpanzés, par exemple, comme le fait qu'ils soient non pas végétariens, mais omnivores, qu'il existe au sein d'une tribu, un système social ou encore des rituels. Jane démontre même la présence d'un langage, certes primitif, avec plus de vingt sons. Elle découvre également qu'ils sont capables de faire la guerre. Encouragée par Louis Leakey, elle réalise un parcours doctoral au Newnham College, alors qu'elle n'a pas de diplôme universitaire. Elle soutient en 1965 sa thèse de doctorat en éthologie.

Un femme engagée

En 1977, Jane créa l'Institut Jane Goodall pour la Recherche de la faune, l'Éducation et la Conservation. Jane a œuvré toute sa vie pour la protection des animaux sauvages et essaie toujours aujourd'hui de sensibiliser les nouvelles générations aux dangers de la pollution et de la déforestation sur les animaux sauvages. En 1986, elle décide, avec beaucoup de tristesse, de quitter les chimpanzés pour retourner à la civilisation.

La reconnaissance de son travail

Jane Goodall a reçu de nombreuses récompenses pour ses travaux. Elle a été nommée Messagère de la paix par l'Organisation des Nations unies. Mais c'est en juin 2013 qu'elle reçoit le plus beau des remerciements. Wounda, une jeune femelle chimpanzé orpheline, est relâchée dans la nature après avoir été soignée dans un des refuges de l'Institut Jane Goodall. La petite chimpanzé observe les arbres et se retourne vers Jane pour lui faire un long câlin, avant de s'aventurer dans la forêt.

UTA FRITH

Psychologue 1941

Uta Frith est professeure émérite de développement cognitif à l'Institut des neurosciences cognitives de l'University College de Londres (UCL). Ella été notamment professeure invitée à l'Université d'Aarhus, membre de l'Institut d'études avancées de l'Université d'Europe centrale à Budapest et directrice adjoint de l'Institut des neurosciences cognitives de l'UCL

Mieux comprendre l'autisme et la dyslexie

Uta Frith a consacré sa vie professionnelle à l'étude des troubles du développement, notamment l'autisme et la dyslexie, par des méthodes de psychologie expérimentale et neuropsychologie. Pour elle, ces troubles « *sont déroutants et fascinants à l'infini et ils promettent de nous donner un aperçu de la machinerie cachée de l'esprit* ». Elle a notamment étudié l'implication dans ces pathologies de certains processus cognitifs de très haut niveau, tels que la « *théorie de l'esprit* », la « *recherche de cohérence centrale* » et la « *conscience phonologique* ». Par son travail, elle a participé à la recherche des causes cognitives sous-jacentes de ces troubles et leur lien avec le comportement et le cerveau, afin d'aider à mieux comprendre certaines des difficultés quotidiennes des patient·e·s et de leur·e famille.

La transmission du savoir au plus grand nombre

Depuis sa retraite, Uta continue d'explorer les troubles sociaux tout en développant ses efforts et son goût pour la communication scientifique. Elle a notamment présidé, de 2017 et 2018, la British Science Association, qui a pour mission de mettre la science au cœur de la culture. Elle occupe une partie de son temps à l'écriture avec son mari Chris Frith, camarade de vie depuis 50 ans mais aussi de travail ; Chris étant lui même professeur de neuropsychologie à UCL. Le couple vient notamment de finir un ouvrage rassemblant les connaissances sur l'évolution, le développement et la pathologie de la cognition sociale « *What makes us social* ». Avec leur fils Alex Frith et le dessinateur Daniel Locke, ils ont également réalisé un roman graphique sur le même sujet « *Deux têtes : Où deux neuroscientifiques explorent comment nos cerveaux fonctionnent avec d'autres cerveaux* ».

S'engager pour l'éducation et la visibilité des femmes en science

Uta milite pour que la recherche en neurosciences soit pertinente pour l'éducation et l'apprentissage tout au long de la vie. Elle a pour cela publié en 2005, avec Sarah-Jayne Blakemore, un livre intitulé « *Le cerveau d'apprentissage, Leçons pour l'éducation* ». La psychologue émérite s'intéresse aussi à la promotion des femmes dans les sciences. Présidente du comité de la diversité de la Royal Society de 2015 à 2018, elle s'implique dans divers projets qui visent à élargir le vivier de talents scientifiques en passant en revue les études sur les faits et les idées fausses concernant la diversité dans les sciences. Elle a notamment rédigé un guide sur les préjugés inconscients, et soutenu plusieurs réseaux de femmes scientifiques.

RITA LEVI-MONTALCINI

Neurologue 1909 - 2012

Rita Levi-Montalcini est née à Turin d'une famille de religion juive sépharade. Elle décide de faire des études de médecine après avoir vu sa gouvernante mourir d'une leucémie. Malgré les objections de son père (qui croyait qu'une carrière professionnelle entrerait en conflit avec les devoirs d'épouse et de mère), elle s'inscrit à l'école de médecine de Turin en 1930. Après l'obtention de son diplôme en 1936, inspirée par le travail de Viktor Hamburger, elle entame des recherches sur les effets exercés par les tissus périphériques sur la croissance des cellules nerveuses.

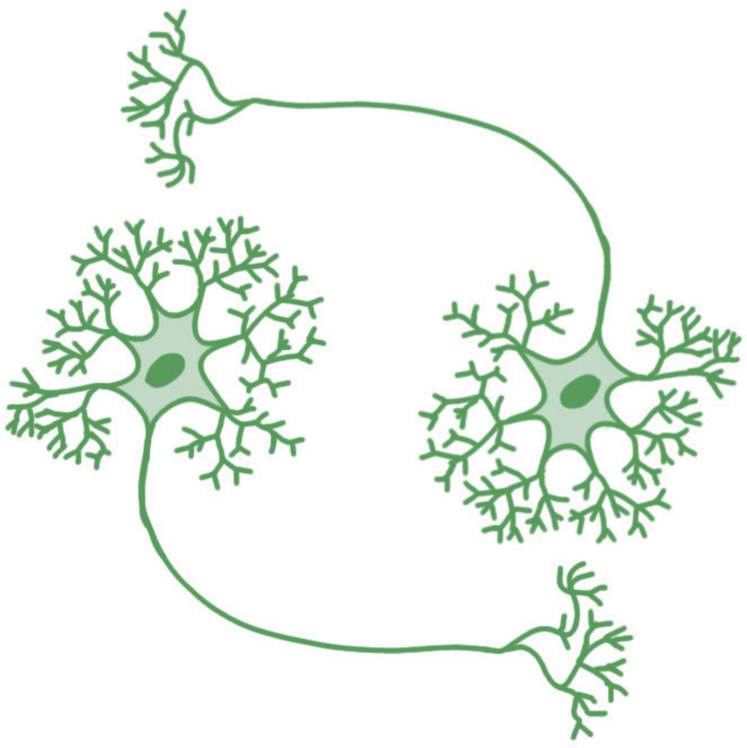
Des travaux ralentis par la seconde guerre mondiale

Ses travaux sont ralentis par les lois antijuives du régime mussolinien de 1938, qui lui interdisent d'exercer, mais elle les poursuit dans le laboratoire de fortune qu'elle installe chez elle. Contrainte de se cacher à Florence au cours de l'occupation allemande (1943-1945), elle rejoint les troupes alliées et devient médecin auprès de ces dernières en 1944. Elle reprend ses recherches à Turin après la guerre.

Découverte du facteur de croissance nerveuse ou NGF

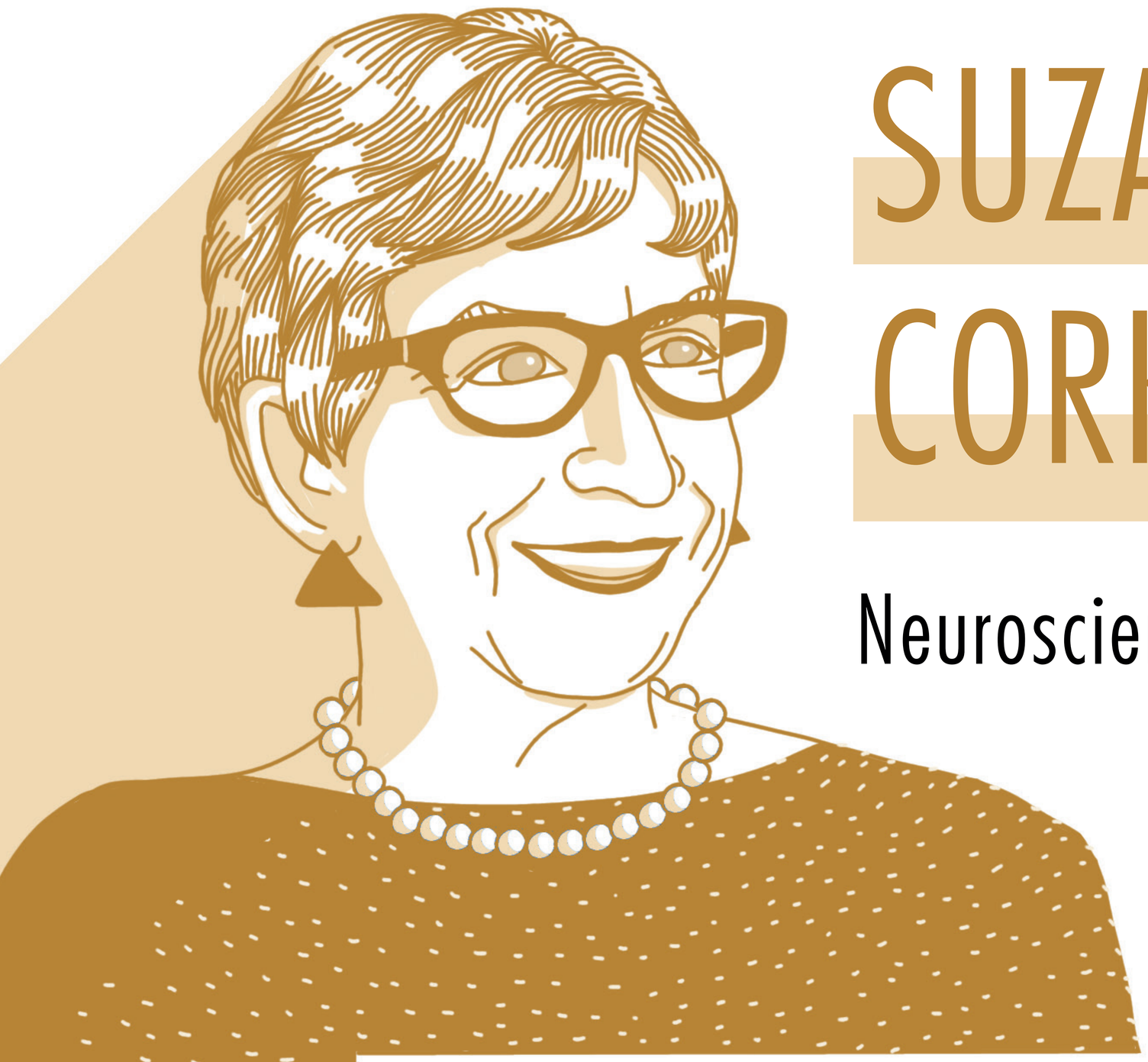
En 1947, elle accepte un poste à l'université Washington, à Saint Louis (Missouri), dans le laboratoire de l'embryologiste Viktor Hamburger, qui étudie la croissance du tissu nerveux chez les embryons de poulet. En 1948, elle découvre une tumeur de souris qui stimule la croissance nerveuse quand on l'implante dans un embryon de poulet. Cet effet est attribué à une substance sécrétée par la tumeur qu'elle appellera le « *Nerve Growth Factor* » abrégé en NGF. À partir de 1952, en compagnie de Stanley Cohen, elle participera à l'isolement de cette molécule et à sa caractérisation. Dans la foulée, Stanley Cohen découvrira l' « *Epidermial Growth Factor* » ou EGF. Plus tard, ils découvriront une source de NGF plus riche que la tumeur de souris dans le venin de serpent. Grâce à cela, ils parviendront à déterminer la nature protéique du NGF en 1956. Les deux chercheur·e·s recevront le prix Nobel en 1986 pour leur découverte. Le travail de Rita Levi-Montalcini est véritablement fondateur d'un pan entier d'activité scientifique : l'étude des facteurs de croissance.

Rita Levi-Montalcini continue ses travaux, travaillant à l'université Washington, jusqu'en 1961, puis à l'Institut de biologie cellulaire de Rome et partage sa vie entre les deux pays. Auteure de plusieurs ouvrages, elle n'a jamais interrompu son activité scientifique : elle signe son dernier article scientifique en février 2012 (elle a alors cent trois ans) dans la revue Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA.



Une figure importante du féminisme

L'activité scientifique de Rita Levi-Montalcini ne doit pas faire oublier le rôle considérable qu'elle a joué dans la société italienne. Féministe déterminée mais sans ostentation, elle est nommée sénatrice à vie en 2001. Elle participe aux débats de la Chambre haute, et, en 2006, soutient le fragile gouvernement de Romano Prodi, ce qui lui vaut les attaques de la Ligue du Nord et de la droite italienne de manière plus générale.



SUZANNE CORKIN

Neuroscientifique 1937 - 2016

Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Professeure de neurosciences au département des sciences du cerveau et de la cognition du MIT, Suzanne Corkin était une éminente spécialiste américaine de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives. Elle est arrivée au MIT à l'automne 1964, après avoir obtenu son doctorat en psychologie comparée de l'Université McGill. Sa première réalisation a été la création du laboratoire de neurosciences comportementales au sein du nouveau centre de recherche clinique. Elle a rejoint le corps enseignant en 1981 en tant que professeure associée.

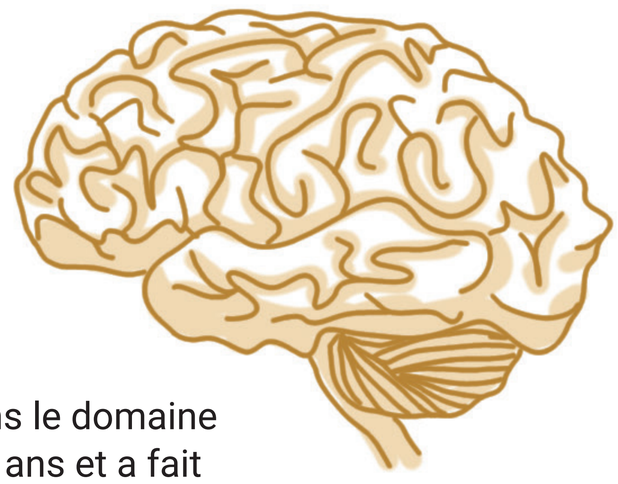
Des travaux de recherche sur la mémoire humaine

Pendant 48 ans, ses recherches se sont concentrées sur l'étude de patient·e·s atteint·e·s de maladies neurologiques, dans le but de relier des processus cognitifs spécifiques, notamment la mémoire, à des circuits cérébraux distincts. Elle a décrit les conséquences à long terme des traumatismes crâniens chez les vétérans de la Seconde Guerre mondiale et de la guerre de Corée, ainsi que la sécurité et l'efficacité d'une procédure psychochirurgicale, la cingulotomie, chez les patient·e·s souffrant de maladies psychiatriques résistant aux médicaments. Ses recherches ultérieures ont porté sur les fondements neuronaux des maladies dégénératives liées à l'âge, notamment les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. Avec ses collègues, elle a mis au point des tâches comportementales qui ont permis d'élucider la nature et la gravité des déficits cognitifs et psychiatriques des patient·e·s atteints de la maladie de Parkinson et de la maladie d'Alzheimer, ainsi que des outils novateurs de marquage neuroanatomique permettant de visualiser les régions du cerveau ciblées par la pathophysiologie de la maladie de Parkinson ou de la maladie d'Alzheimer. Elle a également étudié les neurosciences cognitives du vieillissement sain.

Le patient amnésique Henry Molaison (H.M.)

Sue Corkin est connue pour ses nombreuses années de travail avec le célèbre patient amnésique H.M. rencontré en 1962, alors qu'elle était étudiante diplômée à l'université McGill. Elle travailla avec lui jusqu'à sa mort à 82 ans en 2008. Elle a raconté ses 46 années d'expériences avec lui dans un livre publié en 2013, « *Permanent Present Tense : La vie inoubliable du patient amnésique, H.M* ».

Publications, distinctions et mentorat



Le Dr Corkin a écrit plus de 150 articles scientifiques et a été co-autrice ou éditrice d'une douzaine de livres sur la maladie d'Alzheimer et la recherche sur le cerveau. Elle a reçu de nombreux prix pour ses recherches, dont le prix MERIT des National Institutes of Health et le Baltes Distinguished Research Achievement Award de l'American Psychological Association, Division on Aging.

Sue Corkin était connue pour son action en faveur des femmes et des minorités dans le domaine des sciences. Au MIT, elle a conseillé les étudiant·e·s de première année pendant 17 ans et a fait partie de plusieurs comités En 2011, elle a reçu le Brain and Cognitive Sciences Undergraduate Advising Award du MIT.

GRACE HOPPER

Informaticienne 1906-1992

Des réveils-horloges à la Marine Américaine

Grace Hopper naît en 1906 à New York. Petite fille curieuse, elle démonte à sept ans des réveils-horloge pour comprendre leur fonctionnement. Son père pense que ses filles devraient avoir les mêmes opportunités que ses fils. Après avoir obtenu son bachelor degree, elle rentre à l'université de Yale. Elle y obtient un master et un doctorat en Mathématiques. Elle commence ensuite à enseigner les mathématiques au Vassar College. Quand la seconde guerre mondiale éclate, elle souhaite s'enrôler dans la marine américaine. Elle est d'abord refusée, puis finalement prise comme réserviste, et affectée en 1944 au projet « *calcul* » du bureau du matériel d'artillerie à l'université d'Harvard. Elle y reste jusqu'en 1949, lorsqu'elle rejoint le projet UNIVAC, où son travail est fondamental pour le développement de tous les langages de programmation actuels ! Elle explique dans le livre « *Women of Wisdom : Talks with Women who shaped our Times* » que les femmes se sont mises au travail pendant la guerre au tout début de l'informatique. Elle raconte que c'était l'un des meilleurs domaines pour monter en grade en tant que femme.

Traduire un programme lisible par un humain en un programme exécutable par un ordinateur : la créatrice du premier compilateur de l'histoire

L'UNIVAC a été le premier ordinateur électronique à être commercialisé. En travaillant à son développement, Grace Hopper défend l'idée d'un langage de programmation qui n'utiliserait que des mots anglais. Cela permettrait aux personnes qui n'ont pas de doctorat en informatique ou en mathématiques de pouvoir programmer des ordinateurs. De plus, il serait alors possible d'utiliser un même langage sur des modèles d'ordinateurs différents. On lui répond très vite qu'elle ne pourra jamais en créer un, car les ordinateurs ne comprennent pas l'anglais. Pendant trois ans, son idée est refusée. Elle tient tête et écrit le premier compilateur de l'histoire. C'est un programme informatique qui permet de traduire des programmes écrits dans un langage proche de l'anglais en un programme que l'ordinateur peut comprendre. Elle raconte que sa propre paresse lui a inspiré cette idée. Elle ne voulait pas avoir à traduire ses idées en langage machine à chaque fois qu'elle écrivait un programme. C'est grâce à des compilateurs qu'on peut maintenant écrire en Python, Javascript, C ++, ou n'importe quel autre langage de haut niveau !

Une oeuvre de vie célébrée d'hommages et distinctions

Elle est nommée en 1954 première directrice de la programmation automatique de l'entreprise pour laquelle elle travaille. Elle publie avec son équipe certains des premiers langages de programmation basés sur un compilateur dont FLOW-MATIC et MATH-MATIC. Après des années de services, elle prend sa retraite à 60 ans (mais elle est rappelée à deux reprises). Elle est évelée au rang de commodore par nomination spéciale du président Reagan et reçoit la Defense Distinguished Service Medal, la plus haute distinction hors combat décernée par le ministère de la Défense. Lister tous les prix et honneurs qu'elle a reçus prendrait plusieurs pages, mais pour elle, la chose la plus importante qu'elle ait fait dans sa vie, à part inventer les compilateurs, c'est former les jeunes à l'informatique.

1010100100111101
10010010100
10010010001001
00010100010
010010001001010
01000100100110
100101001010

INGE LEHMANN

Sismologue 1888 - 1993

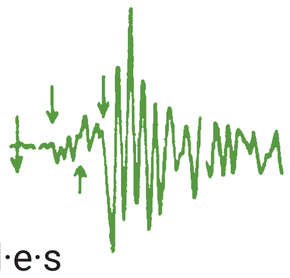
Inge Lehmann naît au Danemark en 1888. Après des études secondaires dans une école à la pédagogie nouvelle et mixte créée et dirigée par Hanna Adler (première danoise à obtenir une licence de physique), elle entame en 1907 des études de physique et de mathématiques, à Copenhague puis à Cambridge. Malade, elle doit arrêter un temps ses études et travaille quelques années comme mathématicienne dans un bureau d'actuariat (étude des probabilité et du hasard dans les questions d'assurance). En 1918, elle reprend sa formation universitaire de mathématicienne et obtient son diplôme de l'Université de Copenhague à l'été 1920.

Une observatrice hors pair

En 1923, Lehmann est nommée assistante en sciences actuaires à l'Université de Copenhague puis, deux ans plus tard, assistante du géodésien Nick Erik Nordlund (la géodésie étudie la forme et les dimensions de la Terre) . Elle devient responsable de la mise en place des observatoires sismologiques au Danemark et au Groenland et est nommée directrice du département de sismologie de l'institut géodésique du Danemark en 1928. En complément de son travail qui consiste à assurer le bon fonctionnement des instruments du réseau danois et à former le personnel des stations éloignées du Groenland, Lehmann entreprend des recherches basées sur l'analyse visuelle des signaux enregistrés aux stations sismologiques. Cette méthode fastidieuse lui permet, puisqu'elle voit et interprète personnellement chaque sismogramme, d'observer les ondes émises par les séismes vers toutes les parties du globe. Elle identifie les phases, mesure leur temps d'arrivée et s'intéresse à leur forme et amplitude. Ces observations méticuleuses vont lui permettre d'apporter de nouvelles contraintes sur la structure interne de la Terre.

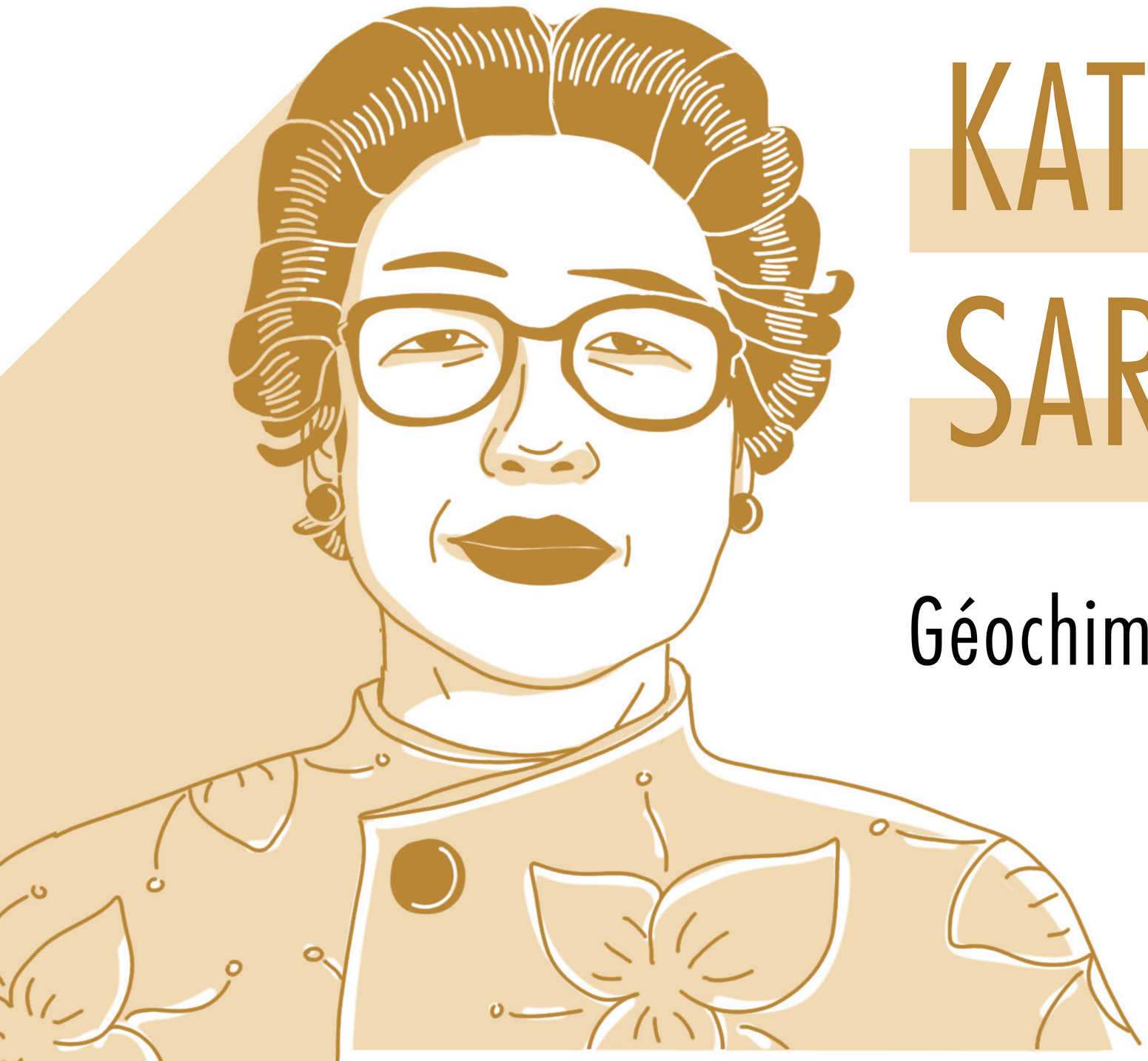
Une graine dans un noyau liquide

La présence d'une « *zone d'ombre* » à la surface de la Terre, dans laquelle l'arrivée d'aucune onde sismique n'était enregistrée autour de l'épicentre d'un séisme, avait permis de proposer l'existence d'un « *noyau* » liquide d'environ 3400 km de rayon au cœur de la planète. En observant des ondes générées par des séismes de Nouvelle Zélande et enregistrées au Groenland, Lehmann découvre que cette zone d'ombre n'est pas totale. Elle est la première à voir et à interpréter certains signaux comme des ondes réfléchies sur une discontinuité interne du noyau qu'elle modélise comme une simple sphère au centre de la Terre, une surface qui prendra son nom. À l'œil, sans ordinateur, elle détermine à 13% près la taille de ce que nous savons aujourd'hui être une « *graine* » solide d'environ 1220 km de rayon (au cœur d'une planète de 6 371 km de rayon) qui joue un grand rôle dans la structure du champ magnétique terrestre généré à l'intérieur du noyau externe liquide.



Une (très) longue vie dédiée à la sismologie

Après sa retraite, Inge continue la recherche. Elle fréquente les laboratoires d'Amérique du nord où elle travaille avec les plus grand·e·s sismologues de l'époque et met en évidence, à plus de 70 ans, une seconde discontinuité de Lehmann, dans le manteau supérieur cette fois. Elle déclare dans ses mémoires : « *Vous n'imaginez pas à combien d'hommes incompétents j'ai pu faire face dans ma carrière. J'ai dû batailler toute ma vie* ». Son travail extraordinaire d'observation et d'interprétation, mené jusqu'à l'âge d'un peu plus de cent ans, sera, tardivement, mais enfin récompensé par de nombreux prix.



KATSUKO SARUHASHI

Géochimiste 1920 - 2007

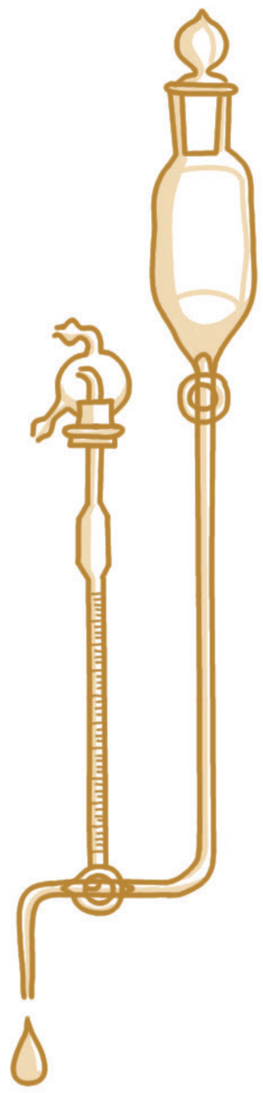
Saruhashi nait à Tokyo en 1920. Ses parents la poussent à étudier et en 1939, elle entre à l'Université Tōhō, une université impériale de sciences pour femmes fondée en 1925. Ses études supérieures sont soutenues en particulier par sa mère qui perçoit l'importance de l'indépendance financière des femmes pendant la deuxième guerre mondiale. Lors d'un stage d'été, elle rencontre le Dr. Yasuo Miyake de l'Observatoire Météorologique Central (OMC). Sous sa direction elle y étudiera les propriétés du Polonium et obtient son diplôme de chimie en 1943. Ne voulant pas être impliquée directement dans l'effort de guerre, elle ignore les nombreuses offres de poste dans l'armée et soumet sa candidature à l'OMC. Sous la direction du Dr. Miyake, qui deviendra son mentor et ami, ses sujets d'étude sont les océans et l'atmosphère. En 1945, l'OMC doit se relocaliser dans la préfecture de Nagano et en août les deux bombes nucléaires sont larguées. Saruhashi se dira choquée que la science et la technologie aient pu être utilisées pour de telles atrocités.

Pionnière de l'étude du CO_2 dans les océans

En 1957, elle obtient son doctorat à l'Université de Tokyo, sur les acides carboniques : le CO_2 et ses différentes formes dissoutes dans l'eau douce et de mer. Les méthodes de mesures et de calculs des concentrations des acides carboniques sont alors complexes et laborieuses et le CO_2 dissous n'est pas encore un sujet d'étude majeur. Elle publie un premier article décrivant une méthode simplifiée pour mesurer la chlorinité (teneur en ion Cl^-) de l'eau. Sa « *Table de Saruhashi* », publiée en 1955, permet aux géochimistes d'obtenir facilement la quantité des acides carboniques en mesurant la chlorinité, la température et le pH de l'eau : un abaque indispensable pour les chercheur·e·s avant l'ordinateur.

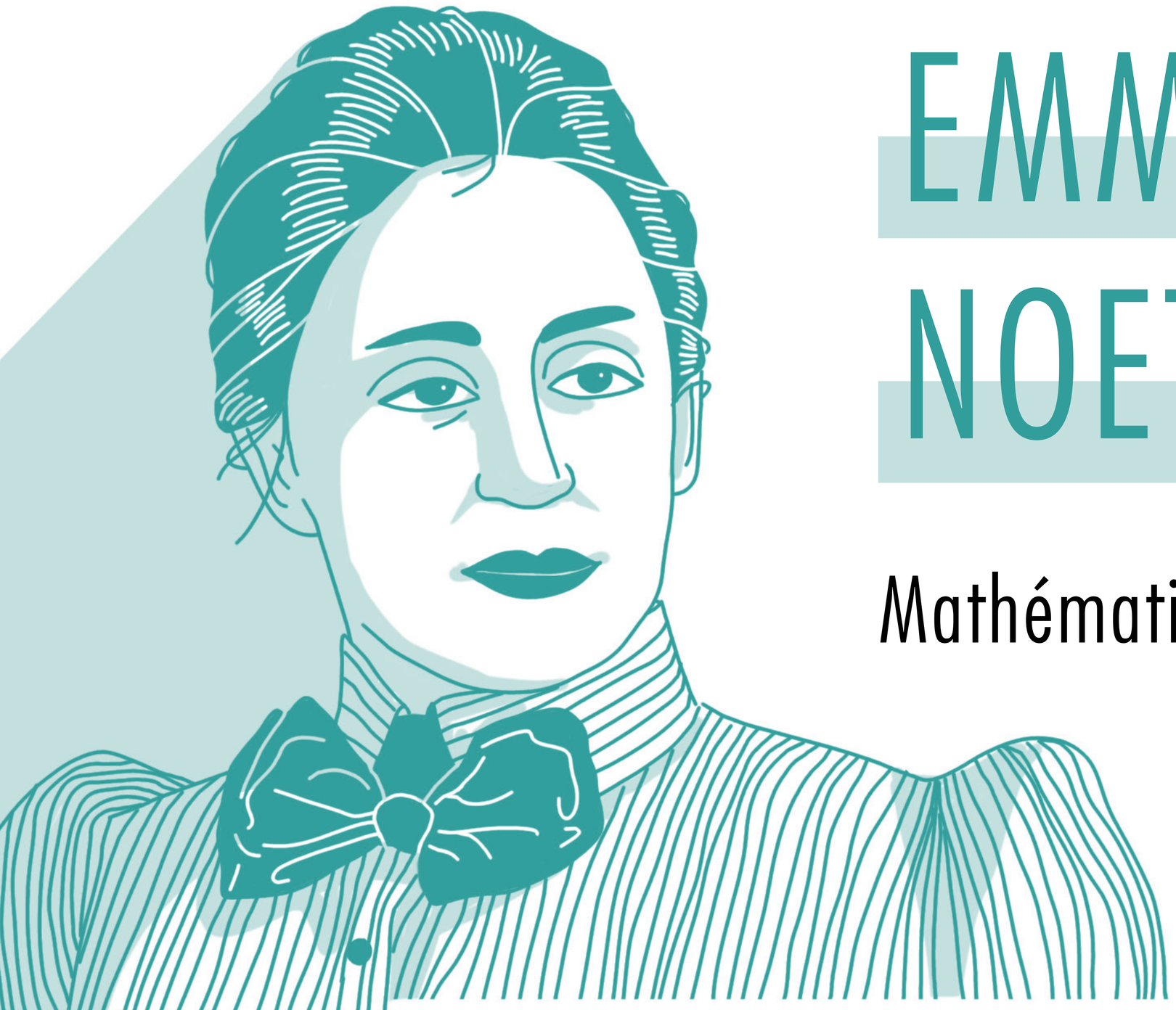
Retombées radioactives des essais nucléaires

En 1954, un équipage japonais tombe malade, à la suite d'une « *pluie de cendres* ». Le gouvernement japonais charge l'équipe de Miyake d'enquêter : elle prouve que les retombées des essais nucléaires américains sur Bikini Atoll contaminent l'air et les eaux japonaises. Saruhashi continue ensuite de mesurer les taux de Cs^{137} et de Sr^{90} dans le Pacifique avec une méthode qu'elle a développé. Ils sont 4 à 60 fois supérieurs que dans l'Atlantique. Les américains contestent la validité de sa nouvelle méthode et elle est invitée au SCRIPPS pour un séjour de 6 mois en 1962. Elle y prouve que sa méthode est au moins aussi précise que celle utilisée par les américains. Saruhashi fera dès 1958 de nombreux efforts pour alerter le public des dangers de la pollution radioactive environnementale.



Activiste pour les femmes de science et la paix dans le monde

Durant sa carrière, Saruhashi s'est fortement impliquée dans l'accompagnement et la reconnaissance des contributions féminines pour les sciences. En 1958, à seulement 28 ans, elle fonde la Société des Femmes Scientifiques Japonaises, dans le but d'encourager les amitiés, le partage et la paix dans le monde. En 1980, à sa retraite, elle établit l'Association pour le Futur des Femmes Scientifiques, et fonde le Prix Saruhashi, qui récompense tous les ans des femmes scientifiques de moins de 50 ans pour leurs réalisations en recherche ainsi que le mentorat d'autres femmes scientifiques. Elle est la première femme à recevoir un doctorat de chimie de l'Université de Tokyo et à être élue au Conseil Scientifique Japonais.



EMMY NOETHER

Mathématicienne 1882-1935

Des difficultés à obtenir un poste

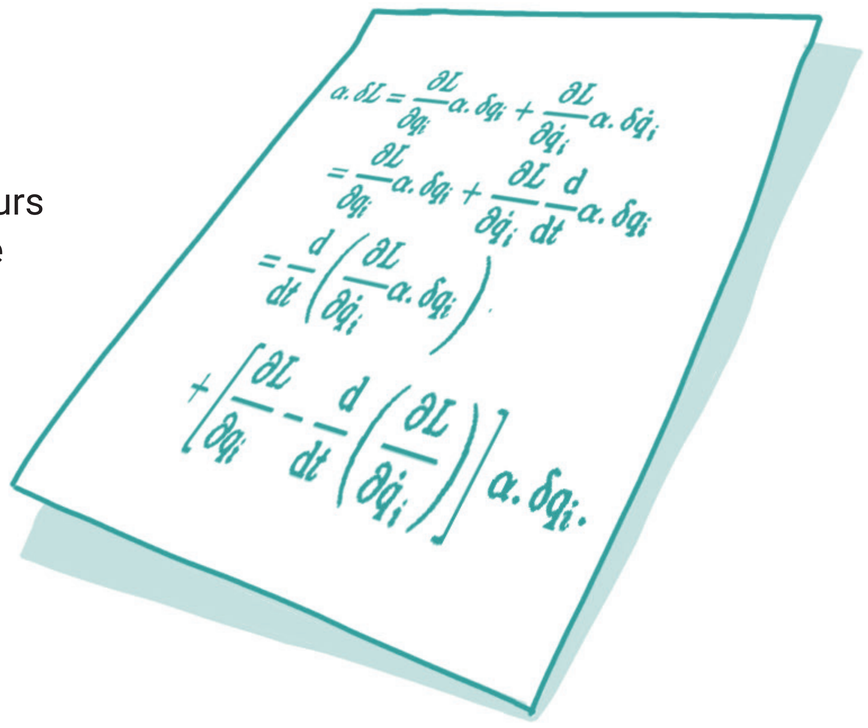
Née d'un père mathématicien, Amalie Emmy Noether entreprend des études à l'Université d'Erlangen. La mixité est encore loin d'être acquise, les deux uniques filles inscrites sur un millier d'étudiants doivent demander l'autorisation d'assister à chaque cours. Malgré cet environnement, elle obtient son diplôme en 1903, décide de se spécialiser en mathématiques et soutient en 1907 sa thèse en algèbre sur la théorie des invariants effectuée sous la direction de Paul Gordan. Les femmes ne pouvant pas être professeures, elle donne pendant 7 ans des cours bénévoles à l'Université d'Erlangen. En parallèle, elle mène ses recherches dans la continuité de sa thèse. En 1915, elle est invitée à l'Université de Göttingen par les mathématiciens David Hilbert et Félix Klein où elle ne peut toujours pas enseigner de façon officielle et donne des cours sous le nom de Hilbert. Ce dernier la soutient et déclare à ses collègues : « *Je ne vois pas en quoi le sexe d'un candidat serait une raison à opposer à son admission. Après tout, nous sommes dans une université, pas dans des bains publics* ». Quelques années plus tard, elle reçoit une lettre du Ministère qui lui offre un titre spécial de professeure mais sans salaire associé. Ce n'est qu'à partir de 1923 qu'elle peut bénéficier d'une vraie position rémunérée.

Le théorème de Noether et la relativité générale

Albert Einstein publie ses travaux sur la relativité générale en 1915. Hilbert souhaite alors avoir l'expertise d'Emmy Noether afin d'éclaircir certains points de la théorie. En effet, Hilbert estime que le principe de conservation d'énergie n'est pas respecté par la relativité générale. La mathématicienne résout ce paradoxe en énonçant et démontrant le théorème de Noether, qui démontre une équivalence entre des lois de conservation de grandeurs physiques d'un système et l'invariance des lois physiques sous certaines transformations. Elle publie ce travail en 1918 qui est un pilier dans la physique théorique moderne. À la réception de cette démonstration, Einstein écrit à Hilbert : « *J'ai reçu hier de Mademoiselle Noether un article fort intéressant sur les invariants. J'ai été impressionné par le degré de généralité apporté par cette analyse».* Après sa mort, Il écrira également en hommages posthumes à Emmy Noether dans le New-York Times : « *Fräulein Noether était le génie mathématique créatif le plus considérable produit depuis que les femmes ont eu accès aux études supérieures jusqu'à aujourd'hui.* »

Des travaux révolutionnaires en algèbre

Emmy Noether est décrite comme une professeure donnant des cours sans notes, de façon passionnée, se souciant peu de son apparence physique. Elle était très dévouée à ses étudiants qui étaient surnommés les « *Noether's boys* ». Elle débute en 1920 une série de travaux révolutionnaires sur la théorie des anneaux, en algèbre : aujourd'hui on utilise l'adjectif « *noethériens* » pour qualifier les objets qu'elle a découverts et étudiés. En 1932, elle reçoit avec un collègue le prix Alfred Ackermann-Teubner pour ses contributions pour les mathématiques.



$$a.\delta L = \frac{\partial L}{\partial q_i} a.\delta q_i + \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} a.\delta \dot{q}_i$$
$$= \frac{\partial L}{\partial q_i} a.\delta q_i + \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \frac{d}{dt} a.\delta q_i$$
$$= \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} a.\delta q_i\right)$$
$$+ \left[\frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right)\right] a.\delta q_i.$$

MARIA GOEPPERT-MAYER

Physicienne 1906-1972

Une brillante thèse de physique

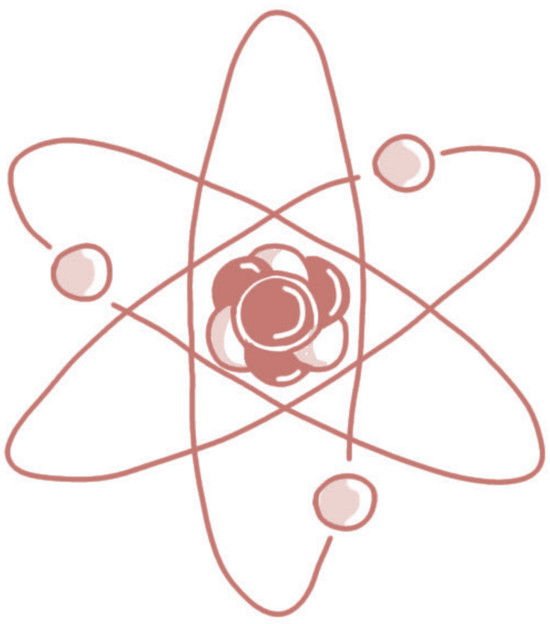
Maria Goeppert-Mayer naît en 1906 dans le Royaume de Prusse mais grandit à Göttingen en Allemagne en 1910. Elle prépare l'examen d'entrée à l'Université de Göttingen dans une école privée gérée par des suffragettes. Elle y étudie d'abord les mathématiques, avant de s'intéresser à la physique. La jeune physicienne réalise sa thèse sous la direction de Max Born, sur la théorie de l'absorption à deux photons, phénomène au cours duquel un atome ou une molécule peut absorber simultanément deux photons. La première démonstration expérimentale de ce phénomène n'aura lieu que trente ans plus tard, avec la mise au point du LASER.

Carrière scientifique aux États-Unis

Après son mariage en 1930, elle suit son époux, le chimiste Joseph Edward Mayer aux États-Unis où le sexisme de l'époque l'empêche d'avoir un poste officiel. Elle doit attendre 1941 pour obtenir son premier poste rémunéré. En 1942, elle rejoint le projet Manhattan (projet militaire des États-Unis pour développer une arme atomique) à l'Université de Columbia dans l'objectif de séparer l'uranium 235, combustible fissible, utilisable pour la bombe atomique, de l'uranium naturel. Elle travaille aussi sur des calculs théoriques avec son collègue et ami Edward Teller qui a pour but de construire une bombe thermonucléaire, connue comme la bombe « *Teller's Super* ». Elle obtient ensuite un poste à la division de physique théorique à la création du laboratoire national d'Argonne, dédié à l'énergie nucléaire, près de Chicago.

Prix Nobel pour son modèle des couches du noyau

Dans les années 40, pendant son poste à Chicago, elle travaille sur un modèle de la structure des noyaux atomiques. En effet, il était connu que certains nombres précis de nucléons donnaient une structure atomique particulièrement stable : ce sont les « *nombres magiques* » comme les surnomme Eugène Wigner. Maria Goeppert-Mayer fournit un modèle théorique de la structure du noyau sous forme de couches de différentes énergies. Chaque couche contient un nombre de nucléons déterminé, de par les interactions entre nucléons. Une structure nucléaire est plus stable avec des couches pleines, ce qui explique que certaines structures soient favorisées. Indépendamment, des physiciens allemands Otto Haxel, Hans Jensen et Hans Suess développent ce modèle à la même époque. En 1950, Hans Jensen et Maria Goeppert-Mayer coécrivent un livre sur ce modèle, intitulé « *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure* ». La scientifique finit sa carrière en enseignant et poursuivant ses recherches à l'Université de Californie à San Diego.



Goeppert-Mayer et Jensen sont colauréats du prix Nobel de physique en 1963 pour cette découverte. Le journal local de San-Diego titre sa consécration « *Une mère de famille de San Diego gagne un prix Nobel*», à l'image du sexisme auquel elle a dû faire face durant toute sa carrière. En reconnaissance de ses travaux, son nom est ajouté au National Women's Hall of Fame en 1966.

MARYAM MIRZAKHANI

Mathématicienne 1977 - 2017

Une jeunesse iranienne

Maryam Mirzakhani naît en 1977 à Téhéran. Petite, elle se passionne pour les livres et souhaite devenir écrivaine. Elle raconte qu'après l'école elle passait son temps dans les librairies. Son frère l'intéresse aux mathématiques en lui parlant de Gauss. Ses excellents résultats lui permettent d'intégrer le lycée Farzanegan de Téhéran, un lycée pour jeunes filles douées. Elle y rencontre une de ses meilleures amies, Roya Beheshti, qui deviendra aussi mathématicienne. Leurs talents en mathématiques sont remarqués par la proviseure qui les pousse à participer aux olympiades internationales. Elles sont les premières filles à y représenter l'Iran, et Maryam y obtient deux médailles d'or en 1994 et 1995. Ces succès lui permettent d'intégrer la prestigieuse université de Sharif, toujours en compagnie de Roya. Elle dit cependant que la perspective de rencontrer d'autres jeunes mathématiciens et mathématiciennes la motivait plus que la compétition. Malheureusement elle perd de nombreux·ses ami·e·s étudiant·e·s mathématicien·ne·s lors d'un accident de bus.

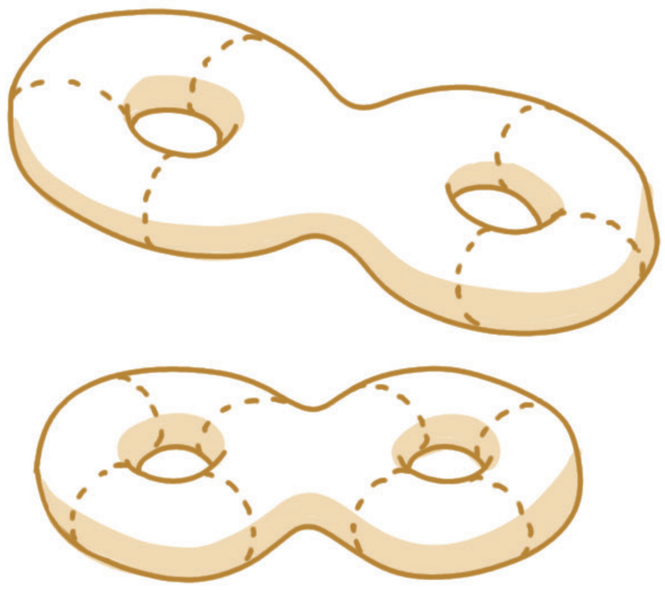
Thèse à Harvard et consécration

Elle commence en 1999 aux États-Unis un doctorat sous la supervision de Curtis McMullen. Dans trois articles colossaux, elle obtient des résultats spectaculaires reliant la géométrie hyperbolique des surfaces de Riemann et la géométrie de leur espace de modules. Après sa thèse, soutenue en 2004, elle obtient une bourse du Clay Mathematics Institute qui lui permet de se consacrer entièrement à la recherche pendant quatre ans. Elle devient professeure à l'université de Stanford en 2008. Elle collabore alors avec Alex Eskin, avec qui elle démontre le fantastique théorème de la baguette magique !

Pour tous ces travaux, elle devient en 2014 la première femme à obtenir la récompense *suprême* : la célèbre médaille Fields (l'équivalent du prix Nobel de mathématiques). Elle décède tragiquement en 2017, à tout juste 40 ans, des suites d'un cancer du sein.

Travaux

Mais sur quoi a travaillé Maryam Mirzakhani ? Elle étudiait l'ensemble des surfaces qu'on peut fabriquer en découpant et recollant une feuille de papier normale (ou « euclidienne ») ou une « *feuille hyperbolique* ». Cela forme des tores à plusieurs trous. L'ensemble de toutes ces surfaces forme lui-même un espace fascinant au centre de nombreuses recherches : l'espace de modules des surfaces de Riemann. Dans les deux contextes (euclidien et hyperbolique), Maryam Mirzakhani a établi des liens profonds entre la géométrie des courbes tracées sur ces surfaces et la géométrie de leur espace de modules.



ROSALIND FRANKLIN

Cristallographe 1920 - 1958

Rosalind Franklin est née le 25 juillet 1920 à Londres dans une famille juive anglaise très influente. Pendant la Seconde Guerre mondiale, ses parents aidèrent des familles juives réfugiées recueillant notamment deux enfants. Elle entre à 11 ans à Saint Paul à Hammersmith, une des rares écoles pour filles enseignant la physique et la chimie. Là, elle excelle en sciences, latin et sports. Elle étudie ensuite la chimie à Newnham College à Cambridge où elle reçoit les second class honours en 1941. Cambridge ne délivrant des diplômes aux femmes qu'à partir de 1947, elle sera diplômée rétrospectivement.

De la structure du charbon

En 1941, elle obtient une bourse pour une thèse à Cambridge sous la direction de R. G. W. Norrish. Leur relation conflictuelle la conduit à s'engager pour un service national civil à la British Coal Utilisation Research Association (BCURA) en 1942. Elle y poursuit des recherches sur la porosité du charbon, et classe leurs performances pour des utilisations soit comme combustible ou comme filtre pour les masques à gaz. Ce travail lui permet d'obtenir le grade de Docteure de l'Université de Cambridge en 1945. Elle rejoint l'équipe de J. Mering, à Paris en 1947 où elle se spécialise dans la cristallographie aux rayons X pour imager les substances amorphes. Elle étudie ainsi la modification structurale lors de la transformation du charbon en graphite.

Aux preuves expérimentales de la double hélice de l'ADN

En 1951, elle intègre l'équipe de J. Randall au King's College à Londres pour étudier l'ADN en collaboration avec le physicien M. Wilkins. Grâce à un montage ingénieux permettant de contrôler l'humidité des échantillons, elle réalise en 1951, avec son élève R. Gosling, des clichés de diffraction de l'ADN fondamentaux. A l'insu de Rosalind Franklin et contre son gré, Wilkins fournit les précieux clichés (dont la célèbre « **photo 51** ») à F. Crick et J. Watson de Cambridge, leur permettant de proposer la structure 3D de l'ADN, en leur donnant la possibilité de choisir entre diverses hypothèses. En 1953, dans la prestigieuse revue Nature, suite à un accord entre les directeurs de laboratoire, paraissent trois articles proposant la structure en double hélice de l'ADN : le premier exposant le modèle théorique de Watson et Crick, les deux autres étant des preuves expérimentales par Wilkins et par Franklin. C'est le premier article qui restera dans l'histoire, et Watson, Crick et Wilkins obtiendront le Prix Nobel de Médecine 4 ans après sa mort.

A la structure des virus à ARN

En 1953, elle intègre le département de physique de Birkbeck College dirigé par J. D. Bernal, un cristallographe communiste et avant-gardiste dans la promotion des femmes, qui obtient des fonds de l'Agricultural Research Council pour qu'elle constitue sa propre équipe. Elle poursuit des recherches sur l'ARN, et détermine les structures de virus à ARN de différentes plantes, comme le virus de la mosaïque du tabac. En 1957, sollicitée par une équipe américaine, elle entreprend de déterminer la structure du virus de la poliomyélite. Elle meurt d'un cancer des ovaires à l'âge de 37 ans, le 16 avril 1958.

ALICE BALL

Chimiste 1892-1916

Entre Etats-Unis et racines hawaïennes

Alice Ball est née à Seattle le 24 juillet 1892, et est la fille du rédacteur en chef, photographe et avocat noir James Presley Ball Jr. et de la photographe blanche Laura Louise Howard. Elle a grandi dans une famille bourgeoise. Son grand-père paternel était un abolitionniste qui fut l'un des premiers à maitriser le daguerréotype et ses photographies de leaders noirs étaient très connues. En 1903, toute la famille s'installe à Hawaï mais après le décès du grand-père en 1904, elle retourne à Seattle.

Une pionnière à l'Université de Hawaï

Elle est diplômée avec mention en 1910 de la Seattle High School. Elle poursuit des études de chimie à l'Université de Washington, et en 1914 obtient un double diplôme de chimie pharmaceutique et de pharmacie. Elle s'est notamment distinguée par un article qu'elle a co-signé dans le prestigieux *Journal of American Chemical Society*. Ayant obtenu une bourse pour poursuivre ses études, elle choisit de retourner à Hawaï. En 1915, elle est la première femme et la première personne afro-américaine diplômée de l'Université d'Hawaï. A 23 ans, elle devient la première femme professeure de chimie de cette université. Elle a créé un précédent important pour les femmes américaines car très peu avaient accès aux études supérieures et notamment dans le domaine scientifique qui était à l'époque principalement réservé aux hommes blancs.

Un traitement efficace contre la lèpre

Sa thèse est consacrée à l'identification des composants actifs de la racine de kava, connue pour ses propriétés psychotropes et utilisée pendant des siècles dans l'ensemble du pacifique. A la suite de ces travaux, elle est sollicitée par le Dr H. T. Hollmann, de l'hôpital de Kalihi à Hawaï, pour isoler le principe actif de l'huile de l'arbre chaulmoogra, utilisé dans le traitement de la lèpre. Alice Ball parvient à isoler et à préparer en grande quantité l'ester éthylique des acides gras de l'huile de chaulmoogra. Elle met ainsi au point le premier remède efficace pour soulager les symptômes de cette maladie qui sévit dans les îles hawaïennes. Ce traitement facilement injectable par voie sanguine est beaucoup mieux supporté par les patients, évitant les nombreux effets secondaires de l'huile. La Première Guerre éclate et en 1916, elle tombe malade et revient à Seattle pour se soigner d'une « *bronchite* ». Un article de journal de l'époque évoque un empoisonnement. Alors qu'elle faisait une démonstration devant sa classe, elle aurait inhalé du chlore gazeux, gaz utilisé durant la guerre. Une autre hypothèse serait la tuberculose. On sait de plus qu'elle souffrait d'un asthme chronique.

Alice Ball meurt à seulement 24 ans avant d'avoir publié ses résultats, que le président de l'Université d'Hawaï, A. L. Dean, s'attribuera. Le traitement ainsi mis au point a permis de soulager des milliers de personnes souffrant de la lèpre pendant plus de 30 ans, jusqu'à l'apparition d'antibiotiques plus efficaces. Il a fallu attendre 1977 pour qu'elle soit reconnue comme l'inventrice du traitement par injection hydrosoluble d'extrait d'huile du chaulmoogra grâce à des écrits de Hollmann désignant ce traitement comme la « *méthode Ball* ».

SOFIA KOVALEVSKAÏA

Mathématicienne 1850-1891

Une jeunesse fascinée par les mathématiques

Sofia passe son enfance à la campagne. Comme toute jeune fille russe aisée, elle reçoit une éducation à domicile. Deux particularités la poussent vers les mathématiques. Pour économiser, ses parents utilisent les notes de cours de mathématiques d'Ostrogradski comme papier peint dans la chambre des enfants. Les formules fascinent la petite Sofia. Un oncle vient régulièrement voir la famille de Sofia. Passionné par les sciences et la philosophie, il lit de nombreux ouvrages qui intéressent Sofia. Les conversations passionnées avec son oncle suscitent d'autant plus son élan pour les mathématiques. À cette même époque de nombreux jeunes russes adhèrent au mouvement nihiliste. Ils et elles rejettent les dogmes traditionnels, prônent la science et les réformes sociales. Grâce à sa soeur Anna, Sofia rejoint les milieux nihilistes de Saint-Pétersbourg. Afin de poursuivre des études à l'étranger, elle contracte en 1868 un mariage blanc avec le paléontologue Vladimir Kovalevski.

Allemagne et doctorat

Sofia décide de se consacrer aux mathématiques. Elle ne peut s'inscrire dans aucune université Russe. Vladimir et elle partent à Vienne mais elle est de nouveau refusée. On lui donne la permission de suivre des cours à l'université d'Heidelberg. Brillante, ses professeurs l'encouragent à se rendre à Berlin pour rencontrer le mathématicien Weierstrass. Ce dernier lui donne des cours particuliers puisque l'université de Berlin refuse son inscription. Elle écrit trois articles (rien que ça!) qui vont constituer sa thèse. Le premier traite de l'existence de solutions à certaines équations aux dérivées partielles. Le second traite des intégrales abéliennes et elliptiques, précurseur des mathématiques du XXème siècle. Le dernier concerne la forme des anneaux de Saturne. En 1874, elle présente sa thèse à l'Université de Göttingen, qui l'empêche de soutenir sa thèse en public bien qu'elle ait fourni l'équivalent de trois thèses exceptionnelles. Intellectuellement épuisée, elle rentre à Saint-Pétersbourg et profite de la vie sociale et intellectuelle.

Stockholm

Le mathématicien suédois Mittag-Leffer l'aide à obtenir un poste de professeur à l'Université de Stockholm. Après avoir été la premièredoctorante en mathématique d'Allemagne, elle devient la première femme professeure d'une université européenne. Elle est nommée membre du comité éditorial de la célèbre revue mathématique Acta Mathematica. Elle travaille sur le mouvement d'un solide avec point fixe soumis seulement à la pesanteur. Elle participe à améliorer la compréhension du problème en introduisant la toupie de Kovaleskaïa. L'Académie des sciences de Paris lui décerne le prix Bordin en 1888 pour ces résultats. Mathématicienne internationalement reconnue, elle obtient une chaire à l'Université de Stockholm et le prix de l'académie des sciences de Stockholm. En parallèle des mathématiques, elle écrit un roman « *Une nihiliste* ». Elle décède d'une pneumonie en février 1891, âgée de seulement 41 ans.

« Il est impossible d'être mathématicien sans être poète dans l'âme…
les mathématiques sont la science qui demande le plus d'imagination »

Une exposition mise en dessin par Marie Lods de l’Institut Jean Nicod (DEC, ENS). Plus d’informations et sources bibliographiques de l’exposition sur le site du Département d’Etudes Cognitives de l’ENS