



3^{èmes} RENCONTRES D'ÉTÉ RÉVOLUTIONNAIRES

La place des femmes dans l'histoire des sciences modernes

Portraits de scientifiques injustement oubliées



En 1988, le mathématicien Alexandre Grothendieck, probablement un des plus grands mathématiciens de tous les temps, refusait le prix Crafoord décerné par l'Académie royale des sciences de Suède qui lui avait été attribué pour son œuvre mathématique. Il s'en est expliqué dans une lettre incendiaire où il donnait sa principale raison :

« Les travaux qui me valent la bienveillante attention de l'Académie royale datent d'il y a vingt-cinq ans, d'une époque où je faisais partie du milieu scientifique et où je partageais pour l'essentiel son esprit et ses valeurs. J'ai quitté ce milieu en 1970 et, sans renoncer pour autant à ma passion pour la recherche scientifique, je me suis éloigné intérieurement de plus en plus du milieu des scientifiques. Or, dans les deux décennies écoulées l'éthique du métier scientifique (tout au moins parmi des mathématiciens) s'est dégradée à un degré tel que le pillage pur et simple entre confrères (et surtout aux dépens de ceux qui ne sont pas en position de pouvoir se défendre) est devenu quasiment une règle générale, et qu'il est en tout cas toléré par tous, y compris dans les cas les plus flagrants et les plus iniques. Dans ces conditions, accepter d'entrer dans le jeu des prix et des récompenses serait aussi donner ma caution à un esprit et à une évolution, dans le monde scientifique, que je reconnais comme profondément malsains, et d'ailleurs condamnés à disparaître à brève échéance tant ils sont suicidaires spirituellement, et même intellectuellement et matériellement. »

De fait, on ne compte plus les publications de pontes qui s'attribuent les travaux de leurs élèves, sans les nommer bien entendu. Le milieu de la recherche scientifique n'a rien à voir avec un monde

éthéré, un monde où seule la beauté des idées anime les chercheurs. Il est à l'image de la société : la coopération tant vantée recouvre une réalité de concurrence où tous les coups sont permis, surtout, comme le disait Grothendieck, quand la victime ne peut pas se défendre.

Comment s'étonner, dès lors, que, précaires parmi les précaires, les femmes scientifiques aient été et sont victimes de ces coups bas ?

L'effet Matilda

Le déni et l'effacement des femmes scientifiques dans l'histoire des sciences ne correspond pas qu'à un oubli de l'histoire, de nombreux exemples que nous citerons plus loin décrivent également l'accaparement sans vergogne de leurs travaux par leurs collègues masculins. La féministe américaine Matilda Electa Joslyn Gage dans son essai *Women as Inventor*, publié en 1870, a décrit le phénomène pour la première fois. Son nom a été repris en 1993 par l'historienne des sciences Margaret W. Rossiter qui théorisa ce concept sous l'appellation d'effet Matilda.

La vie de Matilda est plutôt hors du commun. Née en 1826, bien avant la guerre de Sécession et l'abolition de l'esclavage, elle était fille d'un docteur en médecine et d'une femme, tous deux abolitionnistes. Sa famille faisait partie du réseau qui permettait la fuite des esclaves des États-Unis vers le Canada. Matilda a été arrêtée puis envoyée en prison, mais, loin de renoncer, elle est devenue une militante active de la cause des femmes. Elle milita pour le droit de vote des femmes, pour l'égalité des droits et défendit surtout des positions très radicales contre l'Église. Elle a été la figure de proue du mouvement du droit pour le suffrage des femmes aux États-Unis. Après sa mort, son nom a été rayé de tous les écrits sur le mouvement par les « camarades » avec

lesquelles elle militait. Son action ne sera redécouverte que des années plus tard, grâce au travail de Margaret W. Rossiter.

L'invisibilité des femmes dans les domaines scientifiques se manifeste notamment par l'attribution, ou plutôt la non-attribution, du prix Nobel : depuis qu'il a été créé en 1901, il a récompensé 895 hommes mais seulement 65 femmes, dont 5 physiciennes et 8 chimistes. En 2024, encore, sur 11 lauréats, une seule femme, la Sud-Coréenne Han Kang, s'est vu décerner le prix. Au-delà des récompenses, la question se pose de savoir pourquoi les femmes sont moins présentes dans les carrières scientifiques.

Malgré une appétence comparable des jeunes hommes et femmes pour ces domaines, l'orientation des étudiantes continue de se faire plutôt vers les filières non scientifiques. Il semblerait que les choses soient quand même un peu en train de changer, mais les effets sont encore peu visibles. De nombreuses études expliquent les différences d'éducation entre les genres mais, au-delà de cela, il existe depuis la nuit des temps une politique mûrement réfléchie d'un système qui veut éloigner les femmes des sciences. En ne permettant pas aux femmes de faire des études, elles ne risqueront pas de faire de l'ombre aux hommes en devenant de meilleures scientifiques.

La première femme à avoir obtenu son baccalauréat en France a été Julie Daubié en 1861 et la première docteure de la Faculté de médecine de Paris a été Elizabeth Garrett en 1870. Malgré ces pionnières, les exemples de la façon dont la société savante traitait mal les femmes à la fin du XIX^e et au XX^e siècle sont légion. Ainsi, Jean-Martin Charcot, médecin neurologue né en 1825 soutenait, en tant que président du jury d'évaluation du travail de thèse de Caroline

Schultze en 1888, que la nature des femmes les empêchait de devenir médecin. D'après lui, elles seraient trop fragiles, trop sensibles mais également trop ambitieuses dans leur désir d'égaler les hommes. Seules quelques femmes d'exception pourraient prétendre s'inscrire à l'École de médecine. Et Charcot pouvait croire à ce caractère exceptionnel puisque les femmes n'étaient encore qu'une centaine dans cette École à la fin des années 1880. Marie Curie, dont tout le monde aujourd'hui reconnaît l'importance, s'est vu refuser toute sa vie l'accès à l'Académie des Sciences.

Les femmes sont donc souvent les oubliées de la science. Nous proposons d'examiner quelques cas. Pour toutes, le premier combat aura été de pouvoir faire des études scientifiques, quitte à ruser pour cela, comme la mathématicienne Sophie Germain écrivant sous un nom d'homme. Certaines ont simplement été oubliées, leurs découvertes étant reconnues et valorisées, mais sous une forme anonyme, comme l'astrophysicienne Henrietta Swan Leavitt. D'autres ont vu leurs travaux purement et simplement dérobés par d'autres, des hommes qui ont récolté tous les honneurs alors que tout le monde savait qui avait réellement réalisé les expériences. C'est le cas de la physico-chimiste Rosalind Franklin qui a découvert la structure de l'ADN, découverte qui a valu le prix Nobel à ceux qui ont dérobé ses travaux. Aucune n'a été récompensée du Nobel que leurs travaux ont permis à d'autres de remporter. C'est encore le cas de la biologiste Mangold dont la thèse sur l'embryologie a été récompensée par un prix Nobel de physiologie et médecine... attribué à son directeur de thèse, non seulement voleur, mais nazi.

Toutes ces femmes ont été birmées, spoliées, mais ce n'est évidemment pas ainsi qu'elles se

voyaient ! Elles étaient avant tout des scientifiques. Leur rendre hommage ne peut pas consister à les présenter en victimes, mais nécessite de montrer l'importance de leurs travaux. C'est ce que nous essaierons de faire, sans être trop techniques – et d'ailleurs nous ne serions pas trop capables de rentrer dans des considérations difficiles que nous ne maîtrisons pas vraiment !



Ida Tacke Noddack 1896-1978

et l'intuition de la fission nucléaire

Ida Tacke est née en 1896 à Lackhausen, en Autriche. Elle est entrée à l'Université de Berlin à l'âge de 19 ans alors que les femmes n'y étaient acceptées que depuis six ans seulement. Elle y obtint son doctorat en 1921. Fraîchement diplômée, elle a tout de suite été embauchée dans une filiale allemande de General Electric. Après un deuxième poste dans l'industrie, elle décida d'abandonner le secteur privé pour rejoindre la recherche universitaire. En 1925, alors qu'elle n'avait que 29 ans, elle accepta un poste de chercheuse au Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Berlin, une agence de recherche nationale allemande spécialisée dans l'étude des processus de mesure.

Elle y a travaillé avec deux collègues, Otto Berg et Walter Noddack, et le trio publia un article en 1925 sur la découverte de deux nouveaux éléments chimiques, le rhénium et le masurium, dans le très prestigieux journal *Naturwissenschaften*. L'année suivante, Otto et Ida se marièrent. Cependant, pour le couple, hors de question qu'Ida abandonne la recherche pour devenir femme au foyer. Ils poursuivirent leurs travaux conjointement durant de nombreuses années à Berlin.

En 1934, Ida publia un article intitulé « *Über das Element 93* » (« *À propos de l'élément 93* » en français) dans la revue *Zeitschrift für Angewandte Chemie* qui fit l'effet d'un pavé dans la mare. Dans ce texte, elle revenait sur l'article « *Radioattività prodotta da bombardamento di neutrini* » (« *Radioactivité produite par le bombardement de neutrinos* ») du physicien italien Enrico Fermi, célèbre scientifique connu pour la distribution de Fermi-Dirac ou la règle d'or de Fermi, deux outils de

physique statistique, discipline centrale de la physique moderne. Sur quoi pouvait donc porter le désaccord entre les deux chercheurs ? Et en quoi la théorie de Tacke est-elle révolutionnaire ?

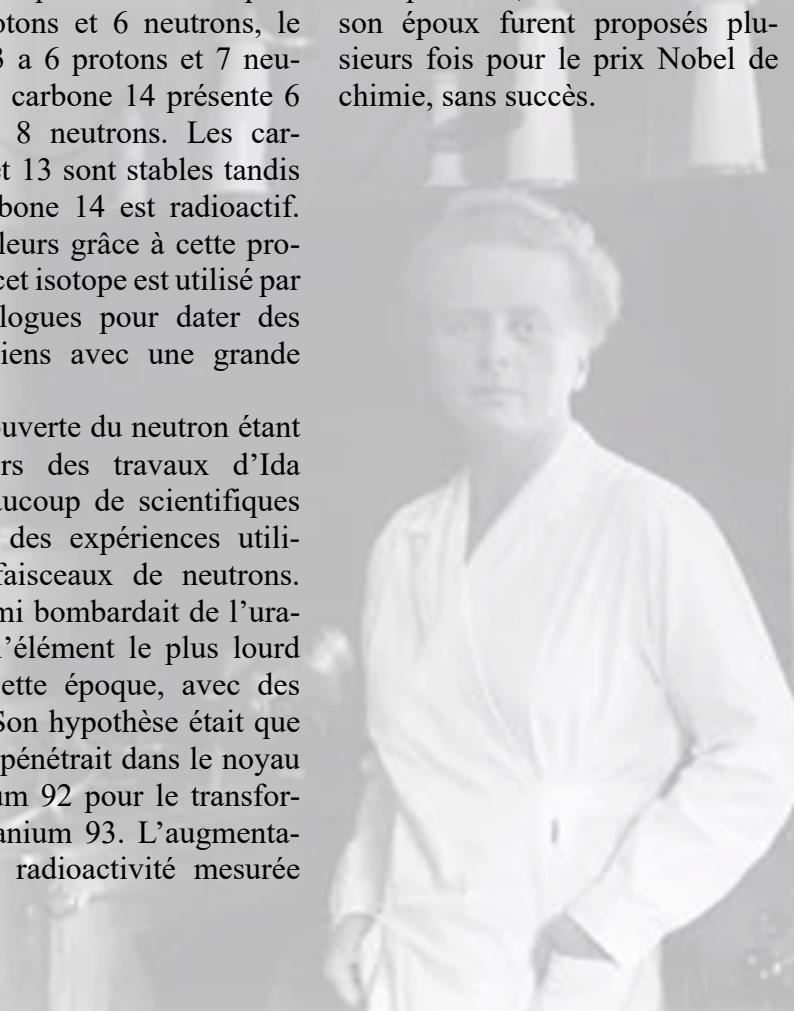
En physique nucléaire, les atomes sont composés d'un noyau entouré d'un nuage d'électrons. Ce sont ces derniers qui déterminent les propriétés chimiques de l'élément – ce n'est pas ce qui nous intéresse aujourd'hui. Les noyaux sont quant à eux composés de protons, des particules chargées positivement, et de neutrons qui, eux, ne sont pas chargés. Le nombre de protons du noyau détermine la nature de l'élément : par exemple, le carbone a 6 protons, l'azote 7 et l'oxygène 8. Mais il est possible qu'un élément se décline avec un nombre différent de neutrons, on appelle alors chacune de ces déclinaisons un isotope. Le cas le plus connu est celui du carbone. L'isotope carbone 12 possède 6 protons et 6 neutrons, le carbone 13 a 6 protons et 7 neutrons, et le carbone 14 présente 6 protons et 8 neutrons. Les carbones 12 et 13 sont stables tandis que le carbone 14 est radioactif. C'est d'ailleurs grâce à cette propriété que cet isotope est utilisé par les archéologues pour dater des objets anciens avec une grande précision.

La découverte du neutron étant récente lors des travaux d'Ida Tacke, beaucoup de scientifiques réalisaient des expériences utilisant des faisceaux de neutrons. Ainsi, Fermi bombardait de l'uranium 92, l'élément le plus lourd connu à cette époque, avec des neutrons. Son hypothèse était que le neutron pénétrait dans le noyau de l'uranium 92 pour le transformer en uranium 93. L'augmentation de la radioactivité mesurée

serait donc due au fait que l'uranium 93 est plus radioactif que l'uranium 92.

Pour Tacke, ce n'est rien de tout cela. Elle propose un nouveau modèle : le neutron provoque la fission, c'est-à-dire la séparation, du noyau d'uranium en deux autres atomes plus petits et fortement radioactifs. Son hypothèse, bien que brillante, passa relativement inaperçue. Elle fut démontrée plus tard par Lise Meitner, dont nous parlerons tout de suite après.

À peu près au même moment, le mari de Tacke obtint un poste à l'Université de Fribourg puis à l'université de Bamberg. À chaque fois, il a fait engager sa femme au sein des instituts de recherche, mais elle a dû suivre les évolutions de son compagnon. Du début à la fin de sa carrière, ses collègues la reléguait à son rôle de femme. Peu de crédit fut accordé à ses recherches par ses contemporains. Bien plus tard, son nom et celui de son époux furent proposés plusieurs fois pour le prix Nobel de chimie, sans succès.



Lise Meitner 1878-1968

et la mise en évidence de la fission nucléaire

Lise Meitner est née en 1878 dans une famille intellectuelle juive de Vienne. Dès son plus jeune âge, elle montra de grandes aptitudes intellectuelles, particulièrement en mathématiques. À l'époque où le lycée était fermé aux femmes, la faculté de Vienne les autorisait tout de même à étudier sous condition de réussite à un examen d'entrée difficile. La première année, elle étudia les mathématiques, la chimie et la physique. Elle décida ensuite de s'orienter vers la physique sur les conseils d'un de ses professeurs : Ludwig Boltzmann, le père de la physique statistique. En 1906, Lise fut diplômée d'un doctorat en physique, sa thèse portant sur la conduction de la chaleur dans les solides inhomogènes. À l'époque, ce phénomène passionnait particulièrement les scientifiques, puisqu'il a introduit l'utilisation des statistiques dans la physique, et qu'il a initié les premières avancées dans ce qui deviendra plus tard la physique quantique. Meitner était donc à la pointe de la physique de son époque.

Son doctorat en poche, elle fit la rencontre de Paul Ehrenfest, un autre élève de Boltzmann, proche d'Albert Einstein. Il lui fit part d'expériences d'optique sur lesquelles Lord Rayleigh, un célèbre physicien britannique, futur prix Nobel en 1904, n'avait pas trouvé d'explication. À la suite de ses travaux sur le sujet, Meitner proposa une explication et publia ses observations dans un article intitulé : « *Conclusions dérivées des formules de réflexion de Fresnel* ». L'année suivante, elle se rendit à Berlin pour assister aux cours de Max Planck, fondateur de la physique quantique. Être formée en physique par Boltzmann puis Planck, c'est comme apprendre la

guitare avec Jimi Hendrix puis Mark Knopfler.

En 1912, Lise est engagée comme assistante de Max Planck à l'Institut Keiser-Wilhelm de Berlin, dont elle devint la directrice du département de physique en 1917. L'année suivante, dans le tumulte du Berlin révolutionnaire, elle découvrit avec son collaborateur Otto Hahn, un nouvel élément occupant la case 91 du tableau périodique des éléments : le protactinium. Lise occupa son poste de chercheuse à Berlin jusqu'en 1938. Avec l'annexion de l'Autriche par l'Allemagne à cette date, sa nationalité autrichienne ne suffit plus à la protéger de la peste brune nazie et de l'antisémitisme : elle émigra en Suède.

Malgré la distance, elle garda un lien avec son collaborateur allemand Otto Hahn, et tous deux ont mis au point un projet d'expérimentation semblable à celui de Fermi quelques années auparavant. À l'aide d'un accélérateur de particules dont elle supervisa la construction avant son départ, ils mirent en évidence un nouvel élément, le baryum, qui serait issu du bombardement d'atomes d'uranium par des neutrons. En janvier 1939, leurs résultats furent publiés dans un article de la revue scientifique allemande *Naturwissenschaften*. Leurs expériences prouvaient la véracité du modèle d'Ida Tacke ! Les noyaux d'uranium sous un faisceau de neutrons donnent des atomes plus petits : c'est la fission nucléaire. Le mois suivant, l'équipe publia un deuxième article où ils calculaient la quantité d'énergie incroyable libérée par le procédé. Ces découvertes ont constitué une avancée scientifique majeure du XX^e siècle. Elles ont valu à Otto Hahn de recevoir le prix Nobel en 1944 et d'être

considéré comme le père de la physique nucléaire. Pourtant, il y a un problème dans cette équation : où est passée Lise ?

Effacée au profit de son collègue masculin, elle a été victime de l'effet Matilda. De confession juive, elle fut contrainte de quitter l'Allemagne pour échapper à la Shoah. Pendant ce temps, ses collègues physiciens, accommodés au régime nazi, ont tranquillement continué leurs recherches... et se sont approprié ses travaux.

Lise Meitner finit ses vieux jours en Grande-Bretagne presqu'anonymement, loin de la gloire et de la renommée de ses anciens collaborateurs.



Rosalind Franklin 1920-1958

et la structure tridimensionnelle de l'ADN

La découverte de la structure de l'ADN, et plus exactement de sa structure en double hélice, est l'une des plus grandes découvertes du XX^e siècle. Elle est liée aux noms de Watson et Crick, qui ont d'ailleurs remporté le prix Nobel en 1962, mais il y a un autre nom, oublié celui-ci : celui de Rosalind Franklin, que vous connaissez peut-être, bien qu'elle ait longtemps été effacée du processus.

La vie et la brillante carrière de Rosalind Franklin

Fille de marchands issus de la bourgeoisie, née en 1920, elle était passionnée par les sciences et particulièrement brillante en mathématiques et en physique-chimie depuis son enfance. Elle a donc fait des études scientifiques, dans un des seuls collèges britanniques qui acceptait des étudiantes femmes, à une époque où celles-ci n'étaient pas légion dans les études supérieures. Elle obtint son doctorat en physique-chimie à Cambridge en 1945.

En 1947, après la guerre, elle obtint un poste de chercheuse au CNRS en France, et poursuivit ses recherches au Laboratoire central des services chimiques de l'État, où elle utilisa les techniques de diffractométrie de rayons X, ou cristallographie, sur le carbone.

Comment fonctionne la cristallographie ?

Cette technique permet de capturer l'organisation spatiale d'une molécule au niveau atomique. Elle nécessite un échantillon cristallisé (afin qu'il se répète dans l'espace de manière régulière), et demande une préparation assez complexe de l'échantillon sous certaines conditions de température et de séchage. Une fois l'échantillon cristallisé, on le bombarde de rayons X sous

différents angles. Ces rayons sont déviés (ou diffractés) par les atomes de l'échantillon, puis détectés sur une plaque photographique, et forment des images. À partir de nombreux clichés, et avec des analyses poussées, on peut essayer de reconstituer la structure spatiale de l'échantillon. Ce n'est pas un processus très intuitif, on est loin d'avoir une « photo » exacte de l'échantillon dans l'espace. Il s'agit plutôt d'indices sur la place relative des atomes dans la matière les uns par rapport aux autres, à charge pour l'expérimentatrice de reconstituer un modèle qui corresponde aux indices collectés.

Qu'est-ce que l'ADN, et à quoi sert-il ?

L'ADN, sigle pour acide désoxyribonucléique, est le support de l'information génétique. Cette molécule contient toutes les informations nécessaires à la vie et au développement d'un organisme. Ce qui représente énormément d'informations pour une seule molécule, présente dans chacune de nos cellules !

La molécule d'ADN est composée de deux chaînes, deux brins qui s'enroulent l'un autour de l'autre, c'est ce qu'on appelle une double hélice. Le « squelette » atomique de l'ADN est constitué de phosphate et de désoxyribose, et les deux brins d'ADN sont reliés entre eux par des bases azotées complémentaires. Cette représentation est maintenant communément admise, mais, au début des années 1950, personne ne savait pas à quoi cette molécule ressemble.

La petite histoire de la découverte de l'ADN

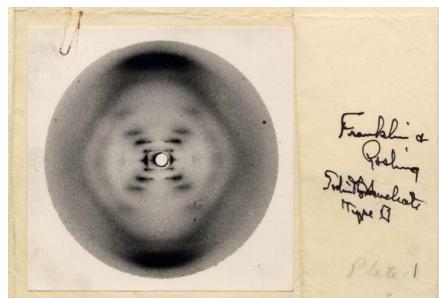
Dès 1865, Gregor Mendel, un moine tchèque considéré comme le « père » de la génétique, évoquait la transmission de « facteurs héréditaires » entre les générations. En 1902, des scientifiques comme Morgan, ont cherché à déterminer le support de ces informations génétiques et découvert les chromosomes, qui apparaissent lors de la division cellulaire, et qui portent ces fameux « facteurs héréditaires ». Mais on ignorait encore quelles molécules sont les supports de ces traits héréditaires. Ce n'est qu'en 1944 que des scientifiques découvrirent, en étudiant des virus et des bactéries, que les facteurs héréditaires sont portés par la molécule d'ADN. Au début des années 1950, il y avait donc de nombreuses preuves solides montrant que l'ADN constitue la base de l'information génétique, mais on ne connaissait pas encore sa structure.

La cristallographie au service de la découverte de la structure de l'ADN

Rosalind Franklin a rejoint l'équipe de John Randall au King's College à Londres, qui travaillait justement sur ce sujet. Randall a l'idée d'utiliser la cristallographie, utilisée initialement pour étudier la structure de la matière inerte, notamment les minéraux, pour étudier la structure de matière organique, et notamment l'ADN. Franklin a donc mis sa maîtrise de la cristallographie au profit des recherches sur l'ADN, ce qui était une première !

Au laboratoire, l'ambiance était pesante pour elle. Ses collègues masculins la méprisaient, notamment le physicien Maurice Wilkins, qui la considérait au départ

comme son assistante, et avait du mal à la voir comme son égale... Mais elle travaillait dur et, en contrôlant spécifiquement l'humidité des échantillons, elle finit par obtenir des clichés de l'ADN très intéressants et révélateurs. Le plus célèbre des clichés de diffraction obtenus par Franklin, le fameux cliché 51, n'est pas une image directe de la structure de l'ADN, mais plutôt une image en forme de X à partir de laquelle on peut en



Le cliché 51, à l'origine de la résolution de la structure de l'ADN

déduire la forme en double hélice de la molécule.

Le génie scientifique de Rosalind a été dans un premier temps de réussir à appliquer la cristallographie à la l'ADN, une molécule organique. Cette manipulation demandait d'être une très bonne expérimentatrice, puisqu'il est beaucoup plus compliqué de cristalliser un échantillon organique qu'un échantillon minéral. Il faut aussi un très haut niveau d'expertise pour analyser une image de diffraction et comprendre à quoi ressemble la structure de l'échantillon qui en est à l'origine. Franklin a réalisé elle-même un travail minutieux et fastidieux, qui lui a permis de penser que l'ADN a une forme hélicoïdale, c'est-à-dire une double hélice.

Cette découverte était majeure dans la recherche biologique, parce qu'elle permettait de comprendre comment l'ADN porte l'information génétique, mais aussi comment il se réplique (c'est-à-dire comment, à partir d'une molécule d'ADN, on peut en obtenir deux identiques, et donc

transmettre les informations génétiques d'une cellule). Elle a participé à lever encore plus le secret de la transmission des informations génétiques à travers les générations.

Comme Franklin était particulièrement minutieuse et perfectionniste dans son travail, elle ne publia pas immédiatement ses travaux, attendant d'avoir davantage de preuves concernant ses analyses. Elle laissa son collègue Wilkins accéder à ses clichés, sans se douter qu'il allait en fait les transmettre, sans son accord, à James Watson et Francis Crick, deux autres scientifiques qui travaillaient sur le même sujet (et dont les travaux de Franklin réfutaient d'ailleurs certaines hypothèses). À partir de ces clichés, Watson et Crick firent également des analyses, et conclurent la même chose que Franklin : l'ADN a bien une structure en double hélice, avec deux brins parallèles, reliés entre eux par des ponts constitués de bases azotées qui sont complémentaires.

Watson et Crick, moins minutieux, s'empressèrent de publier ces résultats dans la prestigieuse revue *Nature*. Ils court-circuitèrent complètement le travail de Rosalind Franklin, alors même qu'ils avaient dérobé ses résultats dans son dos ! Quand Franklin apprit que l'article allait être publié, elle demanda aux éditeurs de *Nature* de publier un article de sa part concernant la découverte de ces clichés. La revue accepta et l'article signé par Franklin fut publié dans le même numéro que celui de Watson et Crick, mais beaucoup moins mis en avant. La publication de cet article, dans une revue aussi prestigieuse, est la preuve que tout le monde, dans la communauté scientifique, connaissait la contribution majeure de Rosalind Franklin sur le sujet. Ça n'empêcha pas qu'elle soit complètement mise de côté...

Watson et Crick ont ramassé tous les honneurs, et carrément obtenu le prix Nobel de physiologie et médecine en 1962 pour cette découverte, conjointement avec Wilkins qui leur a communiqué les clichés dérobés à Franklin. À cette époque, celle-ci a déjà perdu la vie – morte d'un cancer des ovaires à l'âge de 38 ans... Un prix Nobel aurait pu lui être attribué à titre posthume, pourtant elle n'obtint rien. Watson et Crick ne la citèrent même pas dans leur discours... Elle a été complètement (et consciemment !) occultée. Plus tard, Watson a même publié une autobiographie, *La double hélice*, dans laquelle il parle de cette découverte, en minimisant énormément le rôle joué par Franklin, sans manquer de la faire passer pour une femme acariâtre ! Ce sont des descendants de Franklin qui ont pris sa défense et restitué la vérité sur son rôle, ainsi que sur sa personnalité.

Marthe Gautier 1925-2022

et la découverte de la trisomie 21

Née en 1925 dans une famille d'agriculteurs, Marthe Gautier a été encouragée par sa mère à faire des études. Elle se lança dans la médecine, comme sa grande sœur, qui lui ouvrit la voie mais mourut prématurément lors de la libération de Paris en 1944. Après-guerre, la recherche en médecine prit un certain essor en France, avec la fondation de la Sécurité sociale, la structuration du CNRS et des principaux instituts de recherche. Marthe réussit brillamment le concours de l'internat des Hôpitaux de Paris et se forma en pédiatrie, plus spécifiquement en cardiologie pédiatrique, jusqu'à en faire le sujet de sa thèse, qu'elle passa en 1955. Son directeur de thèse, Robert Debré, était un grand pédiatre français, à l'origine de la réforme qui a créé les CHU en 1958. Il lui proposa une bourse pour partir étudier un an à Harvard, où elle fut initiée à la culture cellulaire, une technique alors inconnue en France.

La culture cellulaire

Cette technique consiste à faire proliférer des cellules humaines, animales ou végétales en dehors de leur organisme, dans des conditions contrôlées (sur un milieu particulier, avec une température contrôlée). Elle permet, entre autres possibilités, de faire des expérimentations *in vitro* sur les cellules plutôt que sur des organismes vivants, mais aussi de les étudier de près grâce à la microscopie.

Pour mieux comprendre les travaux de Gautier, il faut d'abord faire quelques rappels sur les différentes étapes par lesquelles passe une cellule au cours de sa vie, ce qu'on appelle le cycle cellulaire. Celui-ci est constitué de quatre phases, dont une phase de division cellulaire. Lors de celle-

ci, on peut observer les chromosomes des cellules, c'est-à-dire une des formes que peut prendre l'ADN. La plupart du temps, celui-ci est localisé dans le noyau de la cellule, sous forme de chromatine désorganisée. C'est cette forme qui permet la lecture des informations génétiques qu'il contient. Mais, pendant la phase de division cellulaire, l'enveloppe du noyau disparaît et ne protège plus la chromatine. L'ADN se mélange alors à des protéines, les histones, et prend une autre forme, plus « organisée », plus pratique pour la transmission de l'information cellulaire entre la cellule-mère et les cellules-filles issues de la division. Cette forme, c'est le chromosome. L'ensemble des chromosomes portent les gènes qui sont transmis au cours de la division cellulaire.

Dans une cellule humaine, il y a 46 chromosomes, ou plutôt 23 paires de chromosomes (23 chromosomes venant du père, et 23 de la mère). Lors de l'une des étapes de la division, les chromosomes s'assemblent par paires, et on peut les identifier selon leur taille et leur forme. Le résultat obtenu s'appelle un caryotype. Dans un caryotype humain, on retrouve donc 23 paires de chromosomes, dont la paire XX ou XY qui détermine le sexe génétique.

À l'époque où Marthe Gautier commença ses recherches, on savait déjà observer les chromosomes au microscope lors de l'étape de division cellulaire, mais on venait à peine de découvrir le nombre exact de chromosomes humains. En 1956, une équipe de chercheurs suédois identifia 46 chromosomes et non pas 48 comme on le pensait précédemment.

Découverte de la trisomie 21

En revenant de Harvard, Marthe Gautier intégra l'équipe du Dr Turpin, à l'hôpital Troussseau, qui travaillait sur une maladie appelée à l'époque le « mongolisme », ou encore syndrome de Down, et qu'on connaît aujourd'hui sous le nom de trisomie 21. C'est un syndrome congénital qui donne un ensemble de malformations, dont des malformations cardiaques, qui réduisent l'espérance de vie des patients, ou encore un retard des acquisitions.

Turpin avait l'intuition que le mongolisme était une affaire de chromosomes, mais, pour le démontrer, il fallait pouvoir faire des cultures cellulaires, avec des cellules humaines, pour observer leurs chromosomes. Malheureusement, en France personne ne savait le faire... sauf Marthe Gautier ! Elle allait donc commencer ses expérimentations sur des cellules du tissu conjonctif humain. Un soir, elle compta les chromosomes d'une cellule d'un enfant atteint du syndrome de Down, et crut se tromper en comptant 47 chromosomes au lieu de 46. Mais, le lendemain, lorsqu'elle recompta, elle en trouva toujours 47 ! Marthe venait de découvrir l'origine du syndrome de Down : un chromosome surnuméraire, plus exactement un troisième chromosome 21, alors qu'il ne devrait y avoir qu'une paire, d'où l'appellation de « trisomie 21 ». C'était une découverte majeure, parce qu'elle permettait de comprendre d'où venait ce syndrome, comment s'effectuait sa transmission et, surtout, comment le dépister.



Le triplet de chromosomes 21 responsable de la maladie

Cependant, le laboratoire de l'hôpital Trousseau ne disposait pas du matériel permettant de prendre des photos des fameuses lames préparées par Gautier. Elle fut donc obligée de les confier à Jérôme Lejeune, un chercheur du CNRS, qui travaillait sur le même sujet, et qui lui proposa de faire les clichés dans un autre laboratoire, mieux équipé. Lejeune prit les photos des lames, mais, plutôt que de les envoyer directement à Marthe Gautier, il en profita pour annoncer seul cette découverte lors d'un congrès international sur la génétique et pour publier au plus vite un article sur la découverte de la « trisomie 21 ». Il ne se gêna pas pour se mettre comme principal signataire de l'article, puis mettre Turpin, et enfin Marthe Gautier en cosignataires, comme si elle n'était qu'une assistante du projet, écorchant au passage l'orthographe de son nom. À la suite de cet article, le succès lié à cette découverte, dont des récompenses prestigieuses, rejaillit intégralement sur Lejeune.

Fort de cette nouvelle popularité, Lejeune, fervent chrétien, s'engagea vivement contre l'avortement durant les années 1960 et 1970, et s'opposa à la fois aux avortements thérapeutiques mais également à la pilule abortive qu'il qualifia de « premier pesticide antihumain »... De son côté, Marthe Gautier, dégoûtée, quitta l'hôpital Trousseau. En tant que femme, qui plus est issue d'un milieu populaire comme fille d'agriculteurs, elle avait très peu de

relais dans le milieu scientifique et ne pouvait protester seule contre cette injustice, au risque de perdre son poste.

Il faudra attendre 2014 pour qu'un comité de chercheurs de l'Inserm rétablisse la parentalité de cette découverte, en démontrant qu'elle est due à Marthe Gautier et que la part de Jérôme Lejeune est « loin d'avoir été prépondérante ».



Henrietta Swan Leavitt 1868-1921

et le calcul de la distance entre la Terre et les étoiles

À la fin du XIX^e siècle, Edward Charles Pickering, le directeur de l'Observatoire de Harvard, dans la banlieue de Boston, décida d'embaucher un groupe de femmes astronomes – on les appelle aujourd'hui « les calculatrices de Harvard », mais on les nommait à l'époque d'une façon moins élégante « le harem de Pickering »... Ce dernier connaissait leurs compétences, certaines ayant justement obtenu leur diplôme à Harvard. Mais, surtout, on pouvait les payer moins que les hommes, voire rien du tout si elles étaient autonomes financièrement. C'était le cas d'Henrietta Leavitt. Née en 1868 dans une famille bien établie à Boston, elle a fait des études supérieures de lettres et de sciences avant de se tourner vers l'astronomie, à Harvard.

Pickering s'était lancé dans la cartographie des étoiles dont des milliers de clichés avaient été pris au télescope de l'Observatoire. Il confia à Henrietta Leavitt la tâche de mesurer et de cataloguer les clichés. Les observations qu'elle fit ont abouti à une loi, qui porte désormais son nom, permettant de mesurer la distance d'étoiles relativement lointaines à la Terre.

Ce fut en fait une véritable révolution : jusque-là, on pensait l'Univers limité à la Voie lactée. Les découvertes de Leavitt permettent de mesurer la distance de ce qu'on nommait des « nébuleuses », dont on ne savait pas trop ce qu'elles étaient. Il s'est avéré que ces distances étaient bien plus grandes que le diamètre de la Voie lactée. L'Univers s'est élargi d'un seul coup, et la Voie lactée est apparue comme étant une galaxie, au même titre que ces « nébuleuses ». La célèbre « nébuleuse d'Andromède » a été la première galaxie dont la méthode de Leavitt a

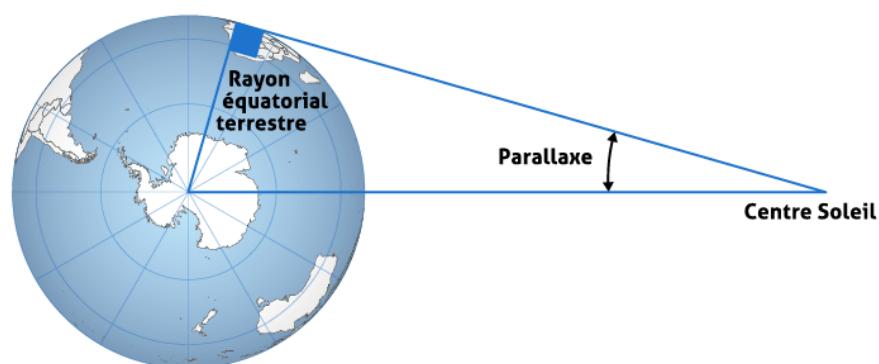
permis de mesurer la distance – soit 2,5 millions d'années-lumière. Mais la méthode de Leavitt a aussi été à l'origine de l'observation de l'expansion de l'Univers, et donc, à rebours, de son origine – la mal nommée théorie du Big Bang.

Revenons à la loi de Leavitt. La question qui se pose avant tout est : comment mesurait-on à cette époque les distances dans le ciel ? La première des méthodes est celle de la parallaxe. Il s'agit, par exemple, de la différence entre ce qu'on voit en regardant alternativement avec l'œil gauche puis l'œil droit : entre les deux « points de vue » (au sens propre !), il y a une différence angulaire, que l'on appelle la parallaxe.

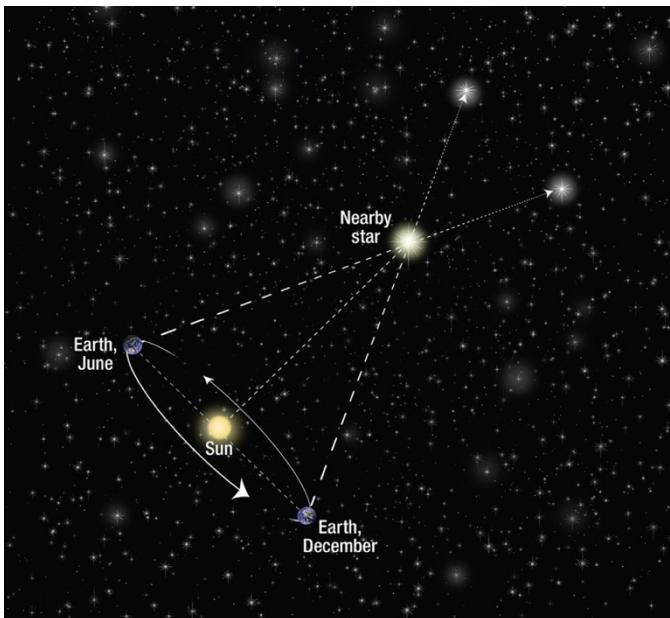
Dans sa version diurne, cette méthode a été utilisée sitôt qu'Ératosthène eut calculé le rayon de la Terre. Forts de ce calcul, les astronomes de Babylone en ont profité pour évaluer la distance entre la Terre et la Lune. En effet, dans le triangle formé par deux points diamétralement opposés de la Terre et la Lune, la connaissance d'un côté (le diamètre terrestre) et de la parallaxe permet, grâce à la trigonométrie, de calculer toutes les autres caractéristiques du triangle – en particulier la hauteur issue de la Lune, c'est-à-dire la fameuse distance de la Lune à la Terre.

Cette méthode est utilisable pour les planètes du système solaire, mais, à mesure qu'on s'éloigne, la taille du côté connu (le diamètre de la Terre) devient trop petite pour des calculs précis. Pour mesurer la distance aux étoiles, ne serait-ce que les plus proches, il fallait une « base » plus grande. Une fois la trajectoire de la Terre autour du Soleil connue, on a pu utiliser comme côté du triangle connu le grand axe de l'ellipse de la trajectoire. En observant l'étoile visée à six mois d'intervalle et en repérant les modifications de l'environnement stellaire de l'étoile cible, on peut évaluer l'angle sous lequel est vue, depuis l'étoile, le demi-grand axe de la trajectoire de la Terre, et donc calculer la distance, comme précédemment. C'est la parallaxe annuelle, ou stellaire. C'est par cette méthode que l'on a pu mesurer la distance de nombreuses étoiles au sein de la Voie lactée.

La méthode de Leavitt, bien qu'elle ait eu besoin de la parallaxe annuelle, est basée sur une tout autre propriété : elle s'appuie sur le comportement d'une catégorie d'étoiles bien particulière, les Céphéides. Il s'agit d'étoiles dont l'intensité lumineuse varie périodiquement – des étoiles clignotantes, en quelque sorte. Très vite,



Méthode de la parallaxe, ici appliquée au Soleil



Méthode de la parallaxe stellaire

Leavitt a compris que cette variation et sa périodicité serait une clé dans le calcul des distances.

Pour mieux comprendre, prenez deux lampes allumées de même puissance, 50 W par exemple. Proches de vous, elles vous éclairent de la même manière : elles ont la même luminosité. Eloignez l'une d'elles de plusieurs mètres : elle vous éclairera moins. La luminosité de celle qui est restée proche de vous est dite « intrinsèque ». La luminosité qui vous parvient de celle qui est éloignée est nommée apparente. On comprend bien qu'il y a un lien entre luminosité intrinsèque, luminosité apparente et distance. Mesurer la luminosité apparente pour les étoiles n'est pas trop compliqué. En revanche, leur luminosité intrinsèque n'est pas inscrite sur elles comme sur les lampes de notre exemple !

Leavitt avait repéré plusieurs Céphéides dans une petite galaxie satellite de la Voie lactée, le Petit nuage de Magellan. Le fait que ces étoiles soient toutes situées dans une même région relativement petite (par rapport à leur distance jusqu'à nous) permet de considérer qu'elles sont toutes à la même distance de nous. De ce fait, les différences de luminosité

observées ne sont pas liées à la distance, mais correspondent à des différences de luminosité intrinsèque : si une étoile est moins brillante qu'une autre, ce n'est pas parce qu'elle est plus loin, mais parce que sa luminosité intrinsèque est plus petite. Pour reprendre l'exemple des ampoules, si une

ampoule est moins brillante que celle de 50 W, ce n'est pas parce qu'elle est plus loin, mais parce qu'elle est, par exemple, de 25 W, puisqu'elles sont à la même distance.

Leavitt a observé que plus la luminosité intrinsèque était grande, plus grande était la durée entre deux clignotements de l'étoile. Elle a établi une cartographie mettant en relation période et luminosités intrinsèque et apparente. Elle a obtenu une série de points plus ou moins alignés, suggérant donc la dépendance à deux paramètres. Mais, pour déterminer ces paramètres, encore fallait-il connaître précisément la distance d'une Céphéide.

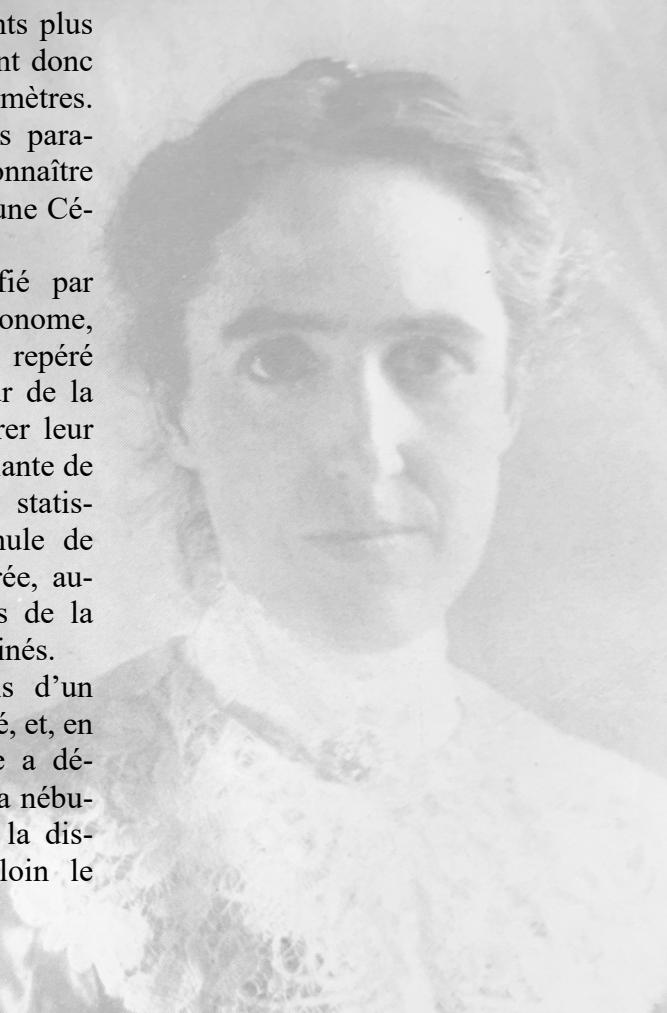
Ce travail a été confié par Pickering à un autre astronome, Ejnar Hertzsprung. Ayant repéré des Céphéides à l'intérieur de la Voie lactée, il a pu mesurer leur distance à l'aide d'une variante de la parallaxe, la parallaxe statistique. Cette fois, la formule de Leavitt pouvait être calibrée, autrement dit les paramètres de la formule ont pu être déterminés.

On disposait désormais d'un outil. Il a très vite été utilisé, et, en 1924, l'astronome Hubble a détecté des Céphéides dans la nébuleuse d'Andromède, dont la distance dépassait de très loin le

diamètre de la Voie lactée (2,5 millions d'années-lumière, contre 120 000 années-lumière pour le diamètre de la Voie lactée).

Le nom d'Henrietta Leavitt a de son côté été vite oublié. Ce que j'ai nommé loi de Leavitt est, le plus souvent, simplement appelée relation luminosité-périodicité. Par contraste, tout le monde parle, par exemple, de la loi de Hubble, en hommage à l'astronome qui l'a découverte. À la décharge de ce dernier, qui n'a jamais obtenu lui-même le prix Nobel, il a toujours proclamé que Leavitt aurait dû le recevoir.

En 1925, un mathématicien de l'académie Nobel l'avait pourtant proposée pour le prix Nobel de physique. Aujourd'hui, l'explication avancée est que, Henrietta Leavitt étant décédée quatre ans plus tôt, le prix Nobel ne pouvait lui être attribué à titre posthume... Mais nous savons maintenant que c'est une fable, puisque cette règle n'a été fixée qu'en 1974... Au moins deux prix Nobel ont été attribués à titre posthume, justement dans les années 1930.



Sophie Germain 1776-1831

et la démonstration partielle du théorème de Fermat

Sophie Germain est née le 1^{er} avril 1776 et est morte le 27 juin 1831 à Paris. C'est l'une des premières grandes mathématiciennes françaises. Fille d'Ambroise-François Germain, membre de la Constituante et futur directeur de la Banque de France, elle découvrit l'histoire des mathématiques à 13 ans. Malgré l'opposition initiale de son père, elle s'y consacra en autodidacte, jusqu'à ce qu'il cède devant sa détermination.

Avec la Révolution française, les institutions scientifiques furent réorganisées (création du Muséum d'histoire naturelle en 1793, de l'École polytechnique et de l'École normale supérieure en 1794, de l'Institut de France en 1795). Ce contexte ouvrit des portes à Sophie Germain. Mais, à la fin du XVIII^e siècle, il était scandaleux qu'une femme étudie les sciences.

Ne pouvant suivre les cours, elle emprunta l'identité d'un élève, Antoine Auguste Le Blanc, pour obtenir les polycopiés de l'École polytechnique. En contrepartie, elle rédigeait les exercices et joignait des remarques. Ses exercices et remarques arrivèrent aux mains de Joseph-Louis Lagrange, un très grand astronome et mathématicien italo-français, qui souhaita rencontrer ce brillant étudiant. Découvrant qu'il s'agissait d'une jeune femme, il la prit sous son aile. Elle publia ensuite plusieurs articles et gagna la reconnaissance de ses pairs en France.

Mais Sophie Germain s'intéressa à la théorie des nombres et, en particulier, au théorème de Fermat. Le plus grand mathématicien de l'époque, Carl Friedrich Gauss, était alors « le » spécialiste de l'arithmétique. Sophie Germain décida donc de lui envoyer ses travaux mais, craignant que les

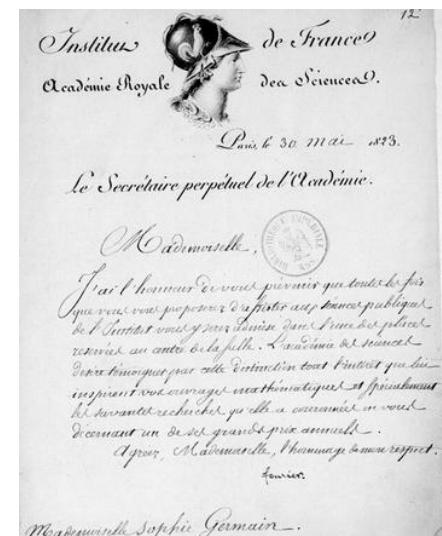
préjugés contre les femmes nuisent à cette correspondance purement mathématique, elle utilisa de nouveau, pour correspondre avec Gauss, le nom d'Auguste Le Blanc. Leurs échanges ont été nombreux et ont porté exclusivement sur la théorie des nombres.

Quand Napoléon envahit la Prusse, en particulier la ville natale de Gauss, Brunswick, Sophie Germain ayant en tête la mort d'Archimède tué par un soldat romain lors de l'invasion de Syracuse et craignant pour la vie de Gauss, fit intervenir le général Pernéty, qu'elle connaissait. Celui-ci se présenta au domicile du savant pour assurer sa protection au nom de Sophie Germain, nom évidemment inconnu du mathématicien qui ne comprit pas. Informée, Sophie Germain lui dévoila le pot-aux-roses et s'attira la réponse que voici, le 30 avril 1807, réponse écrite en français (nous n'avons rétabli que les accents) :

« Comment vous décrire mon admiration et mon étonnement, en voiant se métamorphoser mon correspondant estimé M. Leblanc en cet illustre personnage, qui donne un exemple aussi brillant de ce que j'aurois peine de croire. Le goût pour les sciences abstraites en général et surtout pour les mystères des nombres est fort rare : on ne s'en étonne pas ; les charmes enchanteurs de cette sublime science ne se déclinent dans toute leur beauté qu'à ceux qui ont le courage de l'approfondir. Mais lorsqu'une personne de ce sexe, qui, par nos mœurs et par nos préjugés, doit rencontrer infiniment plus d'obstacles et de difficultés, que les hommes, à se familiariser avec ces recherches épineuses, sait néanmoins franchir ces entraves et pénétrer ce qu'elles ont

de plus caché, il faut sans doute, qu'elle ait le plus noble courage, des talents tout à fait extraordinaires, le génie supérieur. En effet, rien ne pourroit me prouver d'une manière plus flatteuse et moins équivoque, que les attraits de cette science, qui ont embelli ma vie de tant de jouissances, ne sont pas chimériques que la prédilection dont vous l'avez honorée. »

Grâce à un ami mathématicien, Germain devint la première femme à pouvoir assister aux séances de l'Institut de France, sans être l'épouse d'un des membres. Elle obtint en 1816 un prix de l'Académie des sciences pour un mémoire sur la théorie mathématique des vibrations des lames élastiques, premier prix décerné à une femme. Ses travaux portaient en particulier sur l'étude des surfaces et elle introduisit en 1831 la notion de courbure moyenne comme moyenne arithmétique des deux courbures principales.



Lettre autorisant Sophie Germain à assister aux séances de l'Institut de France

Parmi ses autres travaux déjà évoqués dans sa correspondance avec Gauss, elle travailla aussi en théorie des nombres, en particulier sur le « Grand » théorème de

Fermat, fournissant une des premières démonstrations valables pour toute une classe de nombres.

Sophie Germain travailla également sur l'esprit des sciences et publia *Considérations générales sur l'État des Sciences et des Lettres*, texte qui a beaucoup inspiré Auguste Comte, père du positivisme et précurseur de la sociologie.

Elle décéda en 1831, à Paris, d'un cancer du sein, juste avant que, sur proposition de Gauss, l'université de Göttingen lui accorde un doctorat honorifique. Sur son certificat de décès, elle est présentée comme « rentière », ce qui, à cette époque, était plus honorable pour une femme que d'être « mathématicienne ». Elle lègue des contributions sur la théorie des nombres et sur les déformations élastiques, ainsi que la preuve des compétences féminines en sciences.

Son travail

Précisons l'apport de Sophie Germain à la démonstration du Grand théorème de Fermat, en commençant par préciser son énoncé. On se rappelle le théorème de Pythagore qui précise que, dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des côtés de l'angle droit. Les nombres qui vérifient cette propriété sont nommés *triplets pythagoriciens*. L'exemple le plus célèbre, utilisé par tous les charpentiers du monde, est le triplet 3-4-5. En effet, $5^2 = 25$ et $3^2 + 4^2 = 25$. Ainsi, l'équation de $x^2 + y^2 = z^2$ possède une infinité de solutions entières. Mais ce résultat est-il toujours valide pour des puissances strictement supérieures à 2 ?

Fermat conjectura que, dès lors que n est strictement supérieur à 2, l'équation $x^n + y^n = z^n$ n'a pas de solutions entières. Énoncé sans démonstration par Fermat au XVII^e siècle, ce théorème a blanchi

les cheveux de générations de mathématiciens. Il a été démontré pour $n = 3$, $n = 4$, et quelques autres valeurs. Et il n'a finalement été démontré pour tout entier n par Andrew Wiles qu'en 1994.

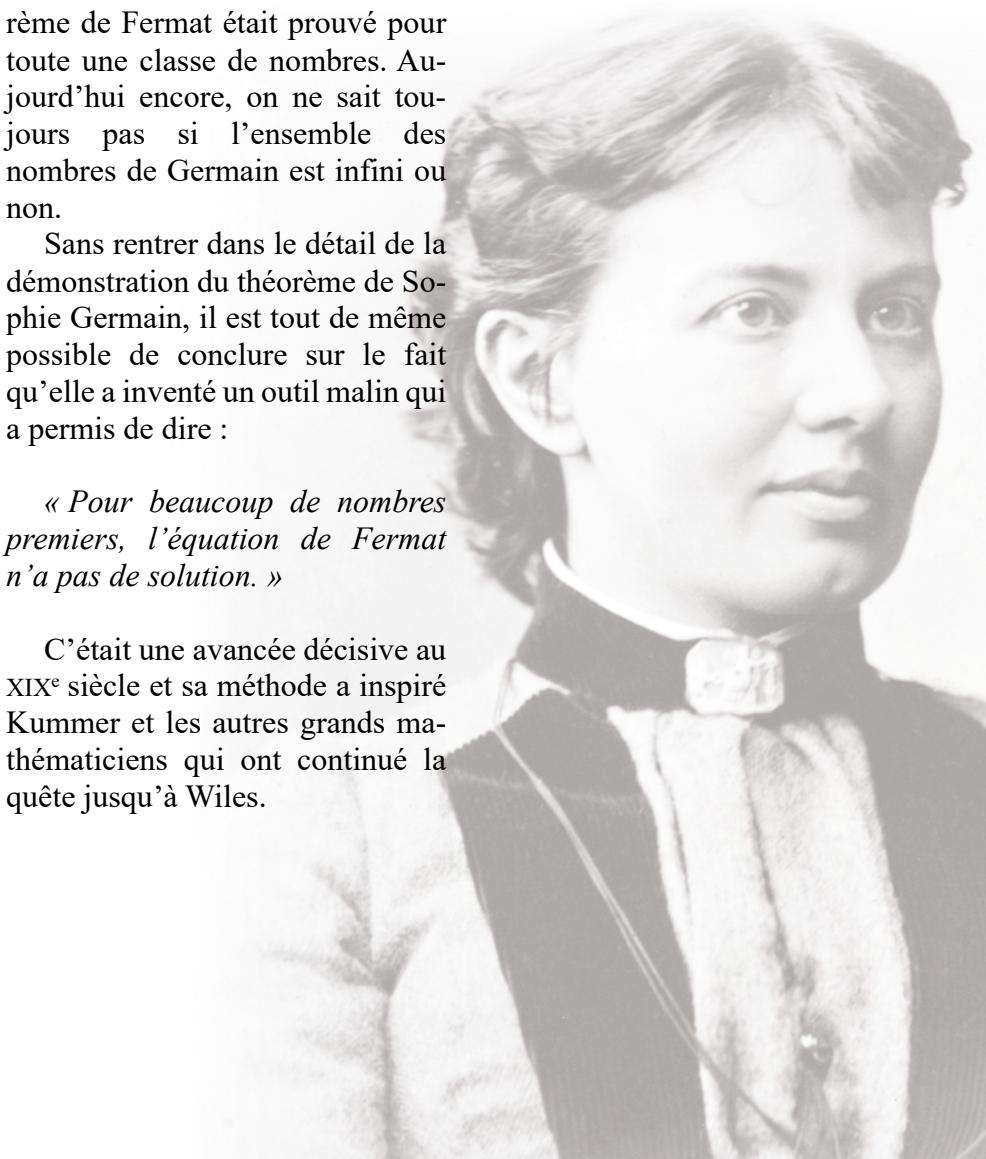
Mais Sophie Germain est la première à avoir trouvé une démonstration non plus pour une seule valeur de n , mais pour toute une classe d'entiers premiers.

Un nombre premier g est dit un « entier premier de Sophie Germain » si $2g + 1$ est aussi premier. Par exemple 2, 5, 11, 23 sont des nombres de Germain car ils sont premiers et 5, 11, 23 et 47 le sont aussi. Elle a démontré ce qui est resté sous le nom de théorème de Sophie Germain et dont une version plus simple dit que, si p est un nombre de Germain différent de 2, l'équation $x^p + y^p = z^p$ ne possède pas de solution entière si le produit xyz n'est pas divisible par p . C'était un pas en avant considérable dans la mesure où le théorème de Fermat était prouvé pour toute une classe de nombres. Aujourd'hui encore, on ne sait toujours pas si l'ensemble des nombres de Germain est infini ou non.

Sans rentrer dans le détail de la démonstration du théorème de Sophie Germain, il est tout de même possible de conclure sur le fait qu'elle a inventé un outil malin qui a permis de dire :

« Pour beaucoup de nombres premiers, l'équation de Fermat n'a pas de solution. »

C'était une avancée décisive au XIX^e siècle et sa méthode a inspiré Kummer et les autres grands mathématiciens qui ont continué la quête jusqu'à Wiles.



Chien-Shiung Wu 1912-1997

et la radioactivité β

Chien-Shiung Wu est née en 1912 en Chine dans la province de Jiangsu. Son père était un fervent défenseur de l'éducation des jeunes filles, il fonda même une école primaire pour filles dans laquelle Wu étudia. À seulement 11 ans, Wu prépara un concours pour intégrer l'École normale pour filles. La compétition était très rude, Wu finit 9^e sur 10 000 candidates. Elle entra à l'Université en 1930 et fit partie des plus brillants élèves de sa promotion. En parallèle, elle fut élue comme représentante par ses camarades lors de protestations étudiantes réclamant une position plus ferme du gouvernement vis-à-vis du Japon, à l'époque puissance occupante de la Chine. Après avoir obtenu son diplôme, elle travailla comme assistante, puis comme chercheuse. Encouragée par une de ses supérieures, elle émigra aux États-Unis pour étudier à Berkeley, et y obtint son doctorat en 1940 sous la direction d'Ernest Lawrence, pionnier en physique nucléaire et futur prix Nobel. Après avoir enseigné à Princeton puis à Columbia, elle contribua au projet Manhattan, le projet de recherche du gouvernement américain visant à fabriquer une bombe atomique.

Son apport majeur à la science est issu de ses recherches après-guerre. Elle collabora avec Tsung-Dao Lee et Chen-Ning Franklin Yang, tous deux physiciens spécialistes des hautes énergies, des particules, du nucléaire et, notamment, de la radioactivité. En 1965, Wu publia un livre intitulé β decay, ce qu'on peut traduire par *La désintégration β* , dans lequel elle décrivit ce mécanisme particulier de radioactivité. C'est également dans ce livre qu'elle introduisit son avancée principale : la notion de non-conservation de la parité

dans les interactions faibles. Encore aujourd'hui, cet ouvrage est présent dans chaque bibliothèque des laboratoires de physique nucléaire qui se respecte. Mais qu'est-ce que cette non-conservation de la parité dans les interactions faibles ? Pour le savoir, nous allons devoir expliquer ce qu'est à la fois la non-conservation, l'interaction faible et la parité dans le cas de la physique nucléaire.

Nous allons déjà préciser la notion d'interaction faible, mais, pour cela, nous devons revenir à la composition des particules de matière. Au fur et à mesure des années, les scientifiques ont réussi à décrire la composition des différentes particules élémentaires, les plus petites briques qui constituent toute la matière. Par exemple, un proton ou un neutron sont chacun composés de trois quarks de nature différente. Cette zoologie a donné naissance à une classification qu'on appelle « le modèle standard ». En 2012, les scientifiques du CERN ont réussi à détecter le boson de Higgs, une observation qui a permis d'avancer expérimentalement dans la preuve de la véracité de ce modèle. Dans ce modèle physique, il existe deux grandes lois qui régissent le comportement de ces particules élémentaires : l'interaction forte et l'interaction faible.

L'interaction forte lie les quarks entre eux pour former les protons et les neutrons. Sa portée est de l'ordre de 10^{-17} m, c'est-à-dire un cent millième de milliardième de millimètre.

L'interaction faible, quant à elle, est causée par l'échange de bosons, dont certains ont une très grande masse, et cette interaction a donc une portée très faible. C'est elle qui permet, entre autres, la transformation d'un quark en un

quark d'une autre nature. Ce phénomène est précisément à l'origine de la désintégration β qui nous intéresse. La puissance de cette interaction est cependant bien moins importante et son ordre de grandeur est cent fois plus petit que celui de l'interaction faible.

Nous allons maintenant nous intéresser à la notion de non-conservation. Quand on parle d'énergie, la notion de conservation domine la physique du quotidien. Par exemple, si l'on place une balle en haut d'une côte, à l'instant zéro, la balle n'a pas de vitesse donc pas d'énergie cinétique. Mais la hauteur à laquelle elle est située lui confère une certaine énergie potentielle, préseignant de la vitesse maximale qu'elle pourrait avoir. Si on laisse la balle dévaler la pente, une fois arrivée en bas la balle a une grande vitesse, donc une grande énergie cinétique. En revanche, sa position au niveau zéro fait qu'elle n'a plus d'énergie potentielle. L'énergie totale du système s'est conservée pendant la transformation puisque l'énergie potentielle est devenue une énergie cinétique. Ces lois de conservation de l'énergie sont centrales en physique. Wu, en introduisant la notion de non-conservation à l'échelle subatomique, vint perturber cette habitude chez les physiciens.

Attaquons-nous enfin à la notion de parité. Dans la représentation mathématique d'un système physique, on définit la symétrie comme une opération sur un objet qui laisse celui-ci inchangé. Par exemple, si on tourne un carré de 90° , cette opération laisse le carré inchangé. En physique des particules, il faut regarder trois symétries importantes : le temps, la charge (positive ou négative) et la parité. De la même façon qu'avec

notre carré, on peut regarder si au cours d'une transformation, ces données vont être conservées ou non. De manière assez intuitive, on peut se représenter mentalement le temps ou la charge. Pour la parité, en revanche, il faut se la représenter comme une quantité liée aux trois dimensions de l'espace. Pour un point dans l'espace de coordonnées (x, y, z) on peut par exemple lui associer les coordonnées $(-x, -y, -z)$.

La découverte de Wu réside dans le fait que, pour les mécanismes gouvernés par l'interaction faible, en particulier la désintégration β , la parité n'est pas conservée. Si certains ont déjà joué au jeu vidéo de course Mario Kart, ils se souviennent peut-être du mode « miroir » où, quand on l'active, le circuit de la course est inversé. Au lieu de devoir passer à droite de l'arbre on doit passer à gauche et le passage secret qui originellement est à gauche se retrouve à droite. Il faut imaginer que lors d'une désintégration β , ce sont en fait deux désintégrations du même élément qui ont lieu en même temps, à la fois dans le circuit normal et dans le circuit miroir. Wu parvint à montrer que le comportement des deux particules émises n'est pas le même selon leur chemin, contrairement à leur comportement temporel ou à leur charge. C'est la non-conservation de la parité dans les interactions faibles.

Cette découverte est une avancée majeure de la physique moderne. Mais Wu est une femme, d'origine chinoise qui plus est. Le monde académique l'a alors complètement évincée de ses propres recherches. Ce sont ses collaborateurs Lee et Yang qui vont recevoir le Nobel en 1957, et Wu va devoir attendre vingt ans pour que le monde académique lui reconnaisse la maternité de ses travaux.



Hilde Mangold-Pröscholdt 1898-1924

et la découverte de l'*induction embryonnaire*

Hilde Pröscholdt est née le 20 octobre 1898 à Gotha, en Thuringe, où son père, Ernest, possédait une savonnerie. Elle étudia deux semestres à l'université d'Iéna, entre 1918 et 1919, puis deux autres à Francfort. C'est là qu'elle assista à une conférence de Hans Spemann sur l'embryologie expérimentale, qui orienta sa vocation. On appelle embryologie la science du développement de l'embryon, depuis la fécondation jusqu'à la naissance.

En 1921, elle rejoignit l'Institut zoologique de Fribourg pour un doctorat sous la direction de Spemann, figure majeure du domaine. À cette époque, l'Allemagne sortait de la Première Guerre mondiale et connaissait une période révolutionnaire. Entre 1919 et 1923, l'effervescence politique s'accompagna d'une libéralisation des sciences et de l'enseignement, ouvrant davantage l'accès aux femmes.

En octobre 1921, Hilde épousa Otto Mangold, l'assistant principal de Spemann. En 1923, elle soutint sa thèse intitulée « *Sur l'induction de transplants embryonnaires par l'implantation d'organisateurs d'espèces différentes* ». Elle mourut tragiquement le 4 septembre 1924, à 25 ans, à la suite d'une explosion de gaz. Viktor Hamburger, son camarade de recherche, la décrivait comme douée, franche, joyeuse, vive et passionnée aussi bien par les sciences que par les arts.

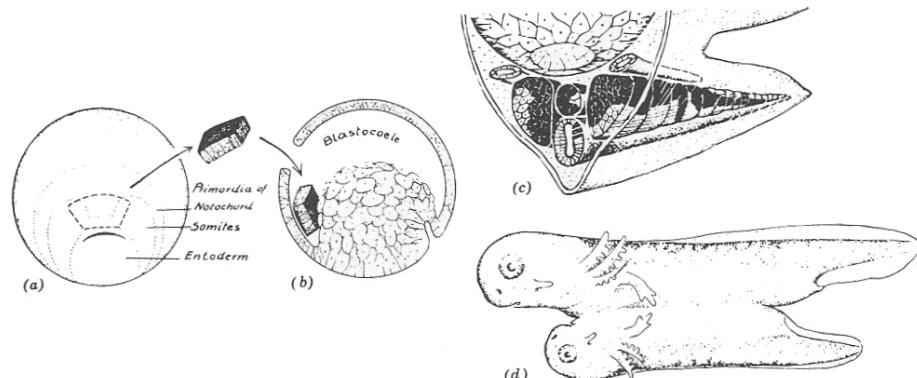
Son travail

Mangold pratiquait l'embryologie expérimentale, méthode novatrice remplaçant l'observation seule. À son époque, on connaissait déjà les structures embryonnaires qui formeront les organes, mais sans comprendre les

mécanismes biologiques sous-jacents. On pressentait que la localisation des cellules conditionnait leur devenir, sans savoir ce qui déclenchaient leur différenciation.

Sa thèse reposait sur une idée simple : utiliser deux espèces de tritons (des amphibiens très proches des salamandres), l'une pigmentée et l'autre non. Elle préleva des greffons de l'embryon

mais un second axe embryonnaire dorsal complet (tube neural, noto-chorde, intestin, tubules rénaux). On observait donc un embryon à deux têtes, constitué surtout de cellules du receveur. Cette « influence » entre cellules est appelée *l'induction embryonnaire*, et le greffon qui a induit la formation du deuxième tube neural est appelé « organisateur ».



Le principe organisateur, tel qu'il a été mis en évidence par Hilde Mangold en 1922

donneur pour les planter dans l'embryon receveur. Grâce à la différence de pigmentation, elle pouvait distinguer leurs devenirs. Le triton est un modèle animal idéal : sa reproduction rapide et ses embryons sont relativement gros et transparents, facilitant l'observation. Spemann conçut les expériences, mais ce fut Mangold qui réalisa l'essentiel du travail, un travail extrêmement minutieux car les œufs mesurent quelques millimètres seulement. Par exemple, un greffon prélevé dans une zone destinée à devenir peau, transplanté dans une zone cérébrale, donnait... du cerveau pigmenté.

La découverte majeure de Mangold fut la suivante : si l'on transplantait la lèvre dorsale du blastopore (un des tissus constitutifs de l'embryon) d'un embryon pigmenté dans la face ventrale d'un embryon non pigmenté, on n'obtient pas une structure ventrale

Les travaux de Mangold ont montré que la substance organisatrice était responsable du développement induit du tube neural, notion *a priori* encore jamais prouvée. Jusque-là, on supposait que le développement d'un tissu de l'embryon était inscrit dans le programme de différenciation des cellules qui le constituent. Les interactions entre les cellules et l'environnement n'auraient que peu d'importance dans ce développement. Voici qu'avec ces résultats, on observe pour la première fois que quelques cellules extérieures au tissu concerné viennent réorienter le développement de leurs voisines et induire l'apparition d'un nouveau tissu. En somme, grâce aux travaux de Mangold, on comprend qu'il n'y a pas de déterminisme quant au devenir de l'identité cellulaire.

En toute logique et comme cela se pratiquait à l'époque, le nom de

cet « organisateur » devrait contenir le nom de Mangold en hommage à Hilde, mais il est resté associé seulement à Spemann. Plusieurs raisons expliquent cela. Il était son directeur de thèse, c'était un homme, reconnu internationalement, et elle une jeune femme qui était décédée entretemps. En 1935, il reçut seul le prix Nobel de physiologie et médecine pour cette découverte. On explique souvent cela par l'impossibilité d'un Nobel à titre posthume, mais, on le répète encore, l'interdiction ne date que de 1974 : Hilde aurait très bien pu être honorée.

De plus, l'Allemagne nazie préférait valoriser davantage un vieux croûton, scientifique reconnu et partisan du régime, qu'une jeune scientifique décédée. Spemann fit d'ailleurs un salut nazi lors de son discours de remise de prix.

Pour l'anecdote, la même année, Irène Joliot-Curie reçut le Nobel de chimie conjointement avec son mari, comme sa mère Marie Curie l'avait reçu avec Pierre en 1903. Le comité Nobel peinait manifestement à reconnaître une femme seule.

Mangold n'a pas vécu assez longtemps pour constater l'impact considérable de ses expériences sur l'embryologie expérimentale. Elle est décédée au moment de la publication de son article. Mais ses travaux ont soulevé de nombreuses questions et ont donné lieu à de multiples expériences dans ce domaine, faisant largement progresser les connaissances en embryologie.

