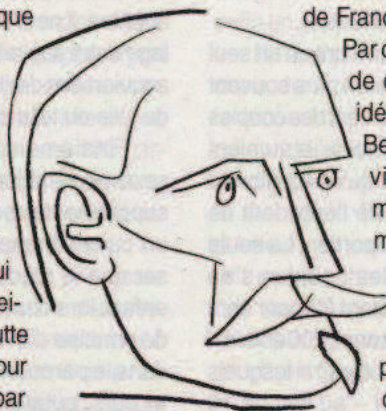


Les multiples vies de Paul Langevin

Paul Langevin (1872-1946) participe au bouillonnement de la physique du début du XX^e siècle. Comme son ami Einstein, c'est un idéaliste engagé qui prend part à l'effort de guerre, milite ardemment en faveur de la justice sociale et supporte mal le conservatisme.

En cette année de la physique, Paul Langevin aurait pu être oublié, si une exposition à l'École de Physique et Chimie Industrielle (ESPCI) ne le rappelait à la mémoire. Pourtant Langevin a été au cœur des changements de la physique, et si quelqu'un incarne le savant de la Troisième République, c'est Paul Langevin. Fils d'ouvrier devenu professeur, physicien éclectique, pédagogue passionné, adepte d'une école publique donnant sa chance à tous, il est aussi un citoyen engagé. Fait d'armes, il a côtoyé, sans cesser d'être populaire, l'élite scientifique, littéraire et artistique (Picasso, son ami de luttes politiques, a fait son portrait).

Aujourd'hui où la plupart des scientifiques participent peu à la vie publique, Paul Langevin paraît anachronique. Quoi, un chercheur qui se mêle de politique, de philosophie, d'enseignement et de diffusion des sciences ? Qui lutte pour la paix, pour les mutins de la mer Noire, pour la nouvelle physique atomistique développée par Einstein, contre une science xénophobe et pour les Droits de l'homme ! Bref, un « idéaliste pratiquant », dont la vie est résumée dans une lettre écrite par Albert Einstein en 1941 dans des circonstances dramatiques. Des États-Unis, Einstein tente d'intercéder pour Langevin incarcéré par la Gestapo : « L'ambassadeur William C. Bullitt m'a informé que le cas de mon distingué collègue et ami, le professeur Paul Langevin à Paris, était actuellement étudié par votre comité. Le professeur Langevin est sans aucun doute l'un des plus grands physiciens français vivants ; ses contributions à la physique moderne sont du plus grand intérêt. Ses mérites en tant qu'enseignant ne sont pas moins éminents ; les plus brillants physiciens français de la jeune génération se sont formés sous sa direction. Le professeur Langevin est un grand humaniste et a toujours combattu l'injustice et le fascisme. Il a besoin et mérite amplement qu'on lui offre un statut de réfugié dans ce pays [les États-Unis]. »



1. Langevin dessiné par Picasso.

Le terme d'ami employé par Einstein n'est pas un effet de style : les liens des deux physiciens sont anciens et solides, car ils ont en commun de multiples intérêts scientifiques et sociaux. Langevin est le premier en France à défendre la théorie de la relativité développée par Einstein : de 1911 à 1922, il sera l'apôtre de la relativité. Cette coopération de vulgarisation culminera avec l'invitation d'Einstein à Paris en 1922, où le savant allemand donnera des conférences au Collège de France et à la Société française de philosophie.

Par cette invitation, Langevin combine sa volonté de diffuser la théorie de la relativité avec ses idéaux d'amitié entre les peuples. L'historienne Bernadette Bensaude-Vincent écrit ainsi : « La visite d'Einstein fut [...] surtout un grand moment de la vie de Langevin, un de ces rares moments où il parvint à unifier toutes les facettes de sa personnalité : le combat pour le renouveau de la physique, la passion de diffuser les connaissances, le goût de philosopher, l'idéal universaliste et la volonté de construire la paix. » La visite est un succès, scientifique (plusieurs physiciens sont « convertis » à la théorie de la relativité) et politique, malgré quelques déchaînements xénophobes et antisémites. Le public, qui comprend les enjeux multiples de la visite, est conquis.

L'ami d'Einstein

Il serait injuste de cantonner Langevin à un rôle de vulgarisateur, même passionné. Un physicien médiocre n'aurait d'ailleurs probablement pas eu la stature nécessaire pour expliquer Einstein. Dès le début de sa carrière, qui coïncide avec le début du siècle, Langevin multiplie les contributions remarquables sur le magnétisme, les gaz ionisés, le mouvement brownien. Ici encore, son caractère éclectique le pousse à défricher de multiples thèmes plutôt que de s'immerger totalement dans un seul sujet. Malgré (ou



2. Einstein et Langevin en 1922 (ci-contre). Langevin et Einstein partagent les mêmes intérêts en physique : Langevin a été un des précurseurs de la relativité et un des théoriciens du mouvement brownien. Ils sont aussi politiquement proches des artisans de la réconciliation franco-allemande : l'esprit scientifique a « survécu aux tranchées ». Après avoir reçu Einstein à Paris en 1922, l'année suivante Langevin se rend à Berlin. L'accueil est mitigé : « M. Langevin, professeur au Collège de France, devait prendre la parole au cours de la manifestation contre la guerre organisée par la Ligue des droits de l'homme. Le préfet de police interdit à M. Langevin de parler, parce qu'en sa qualité de Français, il pouvait provoquer des troubles. » Ci-dessous, Langevin dans son laboratoire.

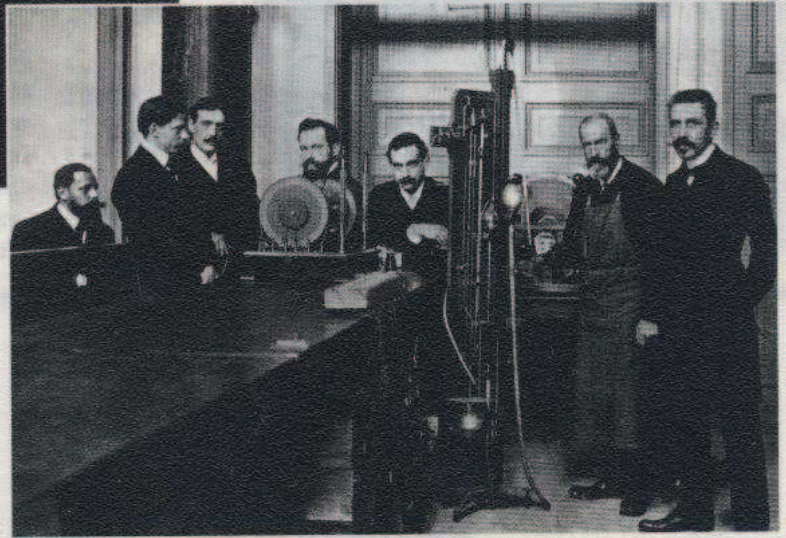
grâce à) cela, il apporte des contributions importantes à tous les domaines qu'il aborde.

En 1897, il obtient une bourse d'un an pour étudier la physique des gaz ionisés au Laboratoire *Cavendish* de Cambridge, en Angleterre. Il tente d'établir le lien entre les concepts de la mécanique et ceux de l'électromagnétisme. Sa thèse, soutenue en 1902, s'intitule « Recherches sur les gaz ionisés ». Elle porte autant sur les aspects expérimentaux – Langevin montre notamment que la recombinaison des ions et des électrons d'un gaz ionisé diminue avec la pression – que sur les aspects théoriques. Il considère que l'électron peut être le lien entre les théories électromagnétiques de Maxwell, qui ont prouvé leur puissance, et la matière.

Cette conviction le conduit à aborder le problème de l'éther. Il prône l'abandon des conceptions mécanistes de l'éther : « Nous n'avons pour lui [l'éther] aucune notion de ce qui peut y être masse ou mouvement. » Langevin n'a pas totalement franchi le pas qu'Einstein sautera en 1905 en abandonnant la notion d'éther, mais il reste l'un des précurseurs de la relativité.

Selon Edmond Bauer, son préparateur à cette époque, Paul Langevin est même allé plus loin. « Pendant les années 1905-1906, le cours de Paul Langevin au Collège de France le conduisit à examiner à fond les propriétés des électrons, celles de la lumière et leurs liens, note-t-il. Ses calculs lui montrèrent bientôt que la lumière possède une masse, qu'elle est inerte. Puis il trouva que pour une quantité donnée de lumière, comme pour l'électron, la masse est proportionnelle à l'énergie, plus précisément qu'elle est égale à l'énergie divisée par le carré de la vitesse de la lumière. »

Il espérait généraliser cette observation avant de publier ses résultats, mais n'en eut pas le temps : Einstein le devança avec sa célèbre équation $E = mc^2$. Le parcours scientifique des deux savants est d'ailleurs étrangement proche. 1905 est « l'année miraculeuse » de Langevin comme d'Einstein. « Durant l'année 1905, Langevin fait paraître douze articles, rapporte Bernadette Bensaude-Vincent. Cinq seulement découlent de ses recherches sur les ions. Langevin



LE PROFESSEUR LANGEVIN NE POURRA PAS PRENDRE LA PAROLE À BERLIN



Centre de ressources historiques de l'ESPCI

3. L'invention du sonar



Centre de ressources historiques de l'ESSPCI

Langevin, le pacifiste convaincu, est pourtant l'inventeur d'une arme (défensive). Durant la Première Guerre mondiale, poussé par ses amis Jean Perrin et Marie Curie, et par sa soif de se rendre utile à son pays, il s'attaque à un problème qui lui est soumis par Paul Painlevé, mathématicien et ministre de l'Instruction publique : peut-on utiliser les ultrasons pour détecter les sous-marins allemands ? Il fallait pour cela émettre des ultrasons suffisamment intenses, et détecter ceux réfléchis par le sous-marin avec une grande sensibilité. Langevin, aidé de l'ingénieur russe Constantin Chilowski et de deux élèves, met d'abord au point un dispositif constitué d'une lame de mica et de métal vibrant près d'une pièce fixe, émettant des ultrasons de très grande fréquence. Mais la portée est insuffisante. En février 1917, Langevin a l'idée d'utiliser la piézo-électricité découverte par Pierre Curie en 1880 pour détecter plus finement les ultrasons. Les matériaux piézoélectriques créent un courant électrique sous l'effet d'une pression mécanique, et sont donc sensibles aux ondes de pression comme les ultrasons. Par l'effet inverse, ils peuvent également transformer un courant alternatif en ondes ultrasonores. En avril 1918, l'appareil de Langevin détecte un sous-marin situé à 1500 mètres dans l'Arsenal de la marine à Toulon. Le sonar est né. La collaboration entre Langevin et la Marine continuera après la guerre de 1914-1918. En 1919, à bord du navire *L'orage*, il poursuit des essais dans la rade de Toulon.

aborde l'inertie des électrons et s'interroge sur le résultat négatif de l'expérience de Michelson-Morley. Il s'attaque aussi à la théorie cinétique, se livre à un travail analytique fort habile qui permet de préciser la loi d'action d'une molécule sur une autre, jusqu'au tracé des trajectoires dans certains cas. »

Relativité et magnétisme

Son intérêt pour les électrons le mènera au magnétisme, où sa contribution est la plus connue. S'appuyant sur les travaux expérimentaux de Pierre Curie, son ancien professeur à l'École de physique et de chimie industrielle, il tente d'expliquer ses résultats, en termes de circulation d'électrons, par la physique statistique développée par Maxwell et Boltzmann. Avec succès. Pierre Curie avait observé que pour les composés paramagnétiques, la susceptibilité magnétique, qui caractérise la manière dont un matériau s'aimante sous l'effet d'un champ magnétique, variait proportionnellement à l'inverse de la température. C'est la loi de Curie-Weiss, $\chi = c/T$, où χ est la susceptibilité magnétique, c une constante dépendant du matériau, et T la température absolue (en kelvins). Langevin suppose que l'aimantation résulte de la compétition entre les forces magnétiques qui tendent à aligner tous les petits moments magnétiques, qu'il dénomme « magnétons », et l'agitation thermique qui tend à désordonner ces magnétons. Il retrouve ainsi théoriquement, et très simplement, les observations expérimentales de Pierre Curie. L'hypothèse de base de Langevin, l'existence d'un « magnéton » porté par chaque atome, ne sera que beaucoup plus tard associée au spin.

Pourtant Langevin ne laissera pas son nom à ses travaux sur le magnétisme, mais à ses recherches sur le mouvement brownien. Ce mouvement aléatoire de particules, qu'elles soient organiques ou minérales, a été découvert en 1827 par le botaniste Robert Brown qui observait des particules de pollen flottant sur l'eau. En 1905, Albert Einstein a

publié la première analyse mathématique de ce mouvement brownien, dû aux chocs entre les molécules du liquide et des particules flottantes. En 1908, Langevin confirme ces résultats en analysant le mouvement d'une particule, plutôt que d'un ensemble de particules. L'équation de Langevin sur le mouvement brownien connaît aujourd'hui un regain d'intérêt en biologie, où l'on rencontre souvent des particules en suspension dans un liquide (par exemple les globules rouges dans le sang).

La diffusion de la science

Au début du XX^e siècle, Langevin est ainsi un des plus brillants physiciens français, qui apporte une touche originale et des résultats remarquables aux nombreux sujets qu'il aborde. Cependant, sa période prolifique touche à sa fin. Certes, il aura encore quelques idées brillantes, notamment sur les applications de l'effet piézoélectrique à la fabrication des sonars, mais il se laissera volontairement happer par d'autres causes, aussi importantes pour lui que la recherche : la transmission des connaissances, tant la vulgarisation de la physique nouvelle que l'enseignement qu'il entreprend de moderniser.

À cette époque, l'existence des atomes est encore contestée, et les « atomistes » se trouvent confrontés aux « mécanistes » héritiers de Newton et aux « énergétistes » adeptes des explications fondées sur la thermodynamique. La relativité est quant à elle considérée, au mieux comme une pure création de l'esprit, au pire comme une élucubration de « l'esprit germanique ». Langevin entreprend de propager ces nouvelles théories auxquelles il a lui-même contribué dans ses cours (notamment au Collège de France) et lors de ses nombreuses conférences. C'est lui qui, pour expliquer la relativité, invente le « paradoxe des jumeaux ».

Dans cette expérience de pensée, l'un des jumeaux voyage à une vitesse proche de la lumière, l'autre reste sur Terre. D'après la théorie de la relativité d'Einstein, le temps s'écoule plus len-

tement pour le jumeau voyageur que pour le jumeau casanier. Le premier serait donc plus jeune que le second lorsqu'il reviendra sur Terre. Le paradoxe est que le jumeau voyageur peut tenir le même raisonnement, car de la Terre, il voit son jumeau se déplacer. L'énigme est levée (difficilement) quand on tient compte du fait que lors de son demi-tour pour revenir sur Terre le jumeau voyageur endure des accélérations que son jumeau terrestre ne subit pas : on sort alors de la relativité restreinte qui ne traite que les mouvements uniformes.

Langevin est également directeur du *Journal de Physique* à partir de 1920, membre des *Conseils scientifiques Solvay*, directeur de l'EPCI, pour ne citer que ses principales fonctions et sa vie personnelle est aussi remplie que sa vie professionnelle. Avec Jeanne Desfosses, qu'il a épousée en 1898, il entretient des liens d'amitié avec le physicien Jean Perrin, le mathématicien Émile Borel et leurs épouses, ainsi qu'avec les Curie. Ils se relayeront même pour donner à leurs enfants une initiation aux sciences fondée sur l'expérience. Mais Langevin est malheureux en ménage. Le chimiste Georges Champetier, qui sera aussi directeur de l'École, racontait que, pareil à Caligula qui avait transformé son cheval en consul, Langevin avait fait, d'un chameau, sa femme. En 1911, les journaux révèlent la liaison de Langevin avec Marie Curie : elle est veuve, il est marié, et la presse se déchaîne sur fond de xénophobie contre la « Polonaise ». Leur amour n'y survivra pas.

« De l'excès de mal (la bombe atomique) doit sortir le remède »

À tout cela s'ajoutent les activités militantes. Langevin s'engage : pour la paix et l'amitié entre les peuples, pour les Droits de l'homme contre le fascisme, pour le rationalisme contre l'obscurantisme... De sa première pétition pour Dreyfus en 1898 jusqu'à ses appels à la responsabilité des hommes de science quelques mois avant sa mort, il lutte pour une société plus humaine. Après la Première Guerre mondiale, son engagement s'intensifie. C'est une pétition contre le blocus de l'URSS, publiée en 1919, puis une campagne en faveur des marins mutins de la mer Noire, qui refusaient de bombarder Odessa. C'est, bien sûr, l'invitation d'Einstein à Paris, aux buts pacifistes autant que scientifiques. C'est encore sa participation à la *Commission internationale de coopération intellectuelle de la Société des Nations* (l'ancêtre de l'ONU).

Il s'engage d'autant plus que, comme tous les scientifiques de son temps, il a été marqué par l'utilisation guerrière des sciences et techniques durant la Première Guerre mondiale. Il donne ainsi l'alarme dans une motion de la Ligue des droits de l'homme en 1925 : « La guerre récente a vu naître de nouveaux moyens de destruction et l'on nous promet, en cas de nouvelle catastrophe, d'incomparables horreurs sous le nom de guerre chimique ou de guerre microbienne. Il y a là, pour l'espèce humaine et pour sa civilisation, un danger qui pourrait faire douter de la valeur morale du progrès scientifique [...] ». Dénonçant la « prostitution de la science à la guerre », il proclame : « Comme on ne saurait songer à limiter la science, il faut absolument lutter contre la guerre. » Mais la science « prostituée » peut se racheter, puisque Langevin souligne, dans une conférence en 1928, que « De l'excès de mal doit



Les scandales de la Sorbonne Pour une Mère

— Non, monsieur, la femme de Curie ne doit pas être soupçonnée.

— Pourquoi donc ?

— Pouvez-vous le demander ? Mme Curie c'est l'honneur de l'Université, c'est toute la science française...

— Tant que ça ! On frémit en songeant que si cette fatale étudiante n'était pas venue de Pologne tout exprès pour assister à la découverte du radium, il n'y aurait plus de science française... Et il y a encore des patriotes assez obtus pour considérer l'invasion des mètèques comme un fléau national !

— Ne plaisantez pas sur un pareil sujet.

— Vous en parlez, en effet, avec un sérieux terrible. On dirait vraiment que l'affaire Dreyfus est retournée. Vous, l'ancien dreyfusard, vous invoquez « l'honneur de l'Université » du même ton que vos adversaires prononçaient jadis : « l'honneur de l'armée ». Et pour vous, farouche anticlérical, la Science, avec une majuscule, est devenue la Nouvelle Idole, dont les Grands-prêtres et les Vestales sont infailibles et tabous !

4. Dans *L'œuvre*, le journaliste Gustave Téry, auteur de ces lignes felleuses, se pose en défenseur de la femme et des enfants Langevin. Il prétend utiliser, pour attaquer Marie Curie, les arguments employés par les Dreyfusards pour combattre l'armée. Langevin provoque Téry, mais le duel tournera court, le journaliste ne voulant pas priver la science française d'un si grand cerveau. Dans le cartouche, la photographie de mariage de Langevin avec Jeanne Desfosses : leur vie conjugale sera mouvementée. Langevin s'accommodait mal du conservatisme bourgeois de sa femme et ses moustaches de mousquetaire symbolisaient ses intrépidités intellectuelles et sociales.

5. Le mouvement brownien selon Einstein et Langevin

En 1905, Einstein s'intéresse au mouvement brownien, car il y voit la possibilité de confirmer l'existence des atomes et des molécules, encore contestée à l'époque. Il montre que les mouvements erratiques de particules en suspension dans un liquide

résultent de chocs avec les molécules de ce dernier. Or, même la plus petite des particules observables est de loin trop pesante pour être déplacée de façon visible par l'impact d'une molécule à la fois, et il faut les chocs d'un grand nombre de molécules pour que la particule se déplace.

À l'équilibre, il y a autant de molécules qui frappent un côté de la particule que de molécules qui frappent l'autre côté, mais les fluctuations autour de cette valeur moyenne exercent une force dite stochastique qui déplace les particules dans toutes les directions. Comme le détail des mouvements de chaque particule n'est pas calculable, donc imprévisible, Einstein opte pour une description probabiliste. En particulier, il estime la distance moyenne parcourue par les particules au bout d'un temps t . Pour cela, il

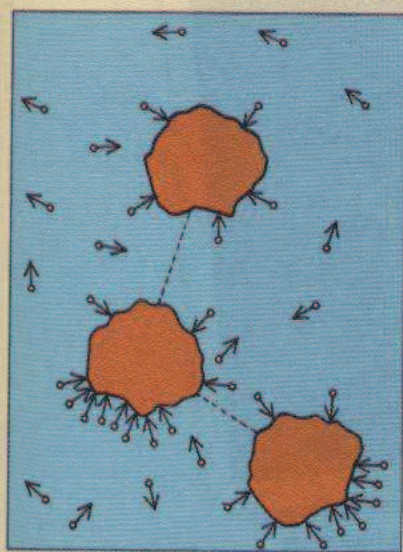
calcule son éloignement moyen d'un point origine, c'est-à-dire son « déplacement quadratique moyen » : $\Delta x^2 = 2Dt$, où D est le coefficient de diffusion. La distance parcourue croît comme la racine du

temps écoulé alors que, pour un projectile balistique (par exemple une boule de billard), elle est proportionnelle à ce temps. Le coefficient de diffusion est égal à RT/Nf , où T est la température du liquide, f son coefficient de frottement, R la constante des gaz parfaits et N le nombre d'Avogadro. Il est ainsi possible, en mesurant D et f , de déterminer expérimentalement le nombre d'Avogadro. C'est ce que réalisera Jean Perrin en 1910, ce qui lui vaudra le prix Nobel en 1926. Perrin trouva que N était approximativement égal à 6.10^{23} .

Parallèlement, Langevin adopte un raisonnement tout à fait différent. Au lieu de s'intéresser à la moyenne du mouvement des particules, il envisage le mouvement d'une seule particule. Mais pour rendre compte de ses fluctuations erratiques, il ajoute une force aléatoire, dite « stochastique », en plus de la force de friction due à la viscosité du liquide. Il transforme ainsi la seconde loi de Newton :

$$m \frac{dv}{dt} = F_{\text{frottement}} + F_{\text{stochastique}}$$

Le membre gauche de l'égalité est identique à celui de la mécanique newtonienne : on y trouve le produit de la masse par l'accélération. Le premier terme à droite est également classique : c'est la force de résistance au mouvement, l'inertie, proportionnelle à la masse et opposée à la vitesse. En revanche, la seconde force est totalement nouvelle et décrit un processus aléatoire dont l'évolution précise en fonction du temps n'est pas connue. Elle souligne le caractère probabiliste du mouvement brownien. Avec son équation, Langevin retrouve le résultat d'Einstein. Les deux théories sont équivalentes et ont donné naissance à de nombreux développements en physique, en biologie et en mathématiques.



sortir le remède. La science contribuera à supprimer la guerre.»
Vue prophétique sur la dissuasion...

Dans les années 1920 apparaît un autre danger contre lequel Langevin va lutter : le fascisme. Il multiplie alors les interventions, sollicité de toutes parts et prenant lui-même l'initiative d'actions. Il est notamment vice-président de la *Ligue des droits de l'homme* à partir de 1927 (il en prendra la présidence après l'assassinat de son président Victor Basch et de sa femme Ilona par la milice en 1944). En 1934, avec d'autres intellectuels, il fonde le *Comité de vigilance des intellectuels antifascistes*. Mais ce mouvement se déchire bientôt entre les tenants du pacifisme intégral et ceux qui, comme Langevin, pensent qu'il faut combattre le fascisme, même par la force.

La malle à remords

Toutes ces activités lui laissent peu de temps pour la recherche, d'autant qu'il continue de beaucoup enseigner, qu'il dirige deux laboratoires, au Collège de France et à l'EPCI, et qu'il préside à partir de 1930 le *Comité scientifique des Conseils de physique Solvay*. Ces *Conseils Solvay*, qui réunissaient tous les quatre ans les plus grands physiciens du moment, ont joué un rôle considérable dans la physique du XX^e siècle. De chercheur, Langevin devient peu à peu un transmetteur de sciences, un passeur lançant des ponts entre les disciplines scientifiques et en direction des sciences humaines.

La fin de sa vie est rude. Arrêté le 30 octobre 1940 par la Gestapo, il est incarcéré à la prison de la Santé et démis de ses fonctions. Cette arrestation suscite un vaste élan de protestation et déclenche les premières manifestations de résistance universitaire. Après quarante jours de prison, il

est libéré pour être assigné à résidence à Troyes. Ses conditions de vie sont difficiles, mais Langevin en profite pour avancer des travaux laissés à l'abandon par sa suractivité d'avant-guerre. Il vide sa « malle à remords », ainsi qu'il nommait la malle contenant les tâches en souffrance qu'il ne trouvait jamais le temps de mener à bien. Sa fille Hélène et son gendre Jacques Solomon, résistants, sont arrêtés en mars 1942. Lui est fusillé au mont Valérien le 23 mai, tandis qu'elle est déportée à Auschwitz en janvier 1943. Elle y survivra. Inquiet pour sa propre sécurité, Langevin quitte clandestinement Troyes en mai 1944 avec l'aide de francs-tireurs partisans et rejoint la Suisse.

Dans le foisonnement intellectuel de l'après-guerre, Langevin, malade, trouvera encore l'énergie de participer à l'élaboration d'une réforme de l'enseignement – le plan Langevin-Wallon – qui ne sera jamais appliquée.

Paul Langevin aura vécu de multiples vies, passant de l'ombre à la lumière, de l'admiration des foules à l'opprobre publique, de l'enthousiasme pour le renouvellement social à un certain scepticisme. Le point commun de toutes ses actions restera l'anticonformisme.

Cécile MICHAUT est journaliste scientifique. Nous remercions Julien Bok et Nicolas Arnaud de leur aide.

L'ESPCI, où Langevin a été élève puis professeur, organise du 17 septembre au 31 octobre 2005 des expositions et des conférences sur Paul Langevin : www.espci.fr/actu/langevin/Paul-Langevin.htm

Revue *Épistémologiques*, *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*, EDP Science, janvier-juin 2002.

B. BENSUADE-VINCENT, *Langevin. Science et vigilance*, Belin, 1987.