



## Robert Noel Hall

Ingénieur et physicien américain, monument de la physique du solide (au même titre que Bardeen ou Schockley) et néanmoins esprit discret et modeste, Robert Noel Hall a développé, pratiquement seul, le procédé de purification du germanium, découvert le concept de jonction PIN et mis au point le tout premier laser à semi-conducteur en 1962. Après une carrière menée tout entière à la General Electric (45 ans !), cet inventeur prolifique et fécond maintient aujourd'hui encore, à près de 90 ans, une activité soutenue de consultant en physique.

**R**obert Noel Hall naît le 25 décembre 1919 dans une famille modeste de New Haven, une ville du Connecticut, dans le nord-est des États-Unis. C'est son oncle, un inventeur professionnel, qui l'initie à la science. Alors qu'il est encore un enfant, ils se rendent à une foire technologique. Là, tout interpelle le jeune Robert : le stroboscope, les moteurs à vapeur... Et surtout il veut comprendre, savoir « comment ça fonctionne ». Son oncle répond patiemment, guide la réflexion, oriente la découverte. Par la suite, il indique les bons livres à la bibliothèque.

Plus tard l'intérêt, si habilement suscité par l'oncle, devient passion assumée : l'adolescent qui entre au collège obtient de sa mère le droit de convertir un coin de sa chambre en laboratoire d'appoint. Robert tente d'y reproduire quelques-unes des expériences qui l'ont tant marqué à la foire et se familiarise avec le monde de la technique. Vers 15 ans, touché par le virus de l'astronomie, il polit lui-même le miroir de son télescope, qu'il pointe sur les anneaux de Saturne.

Vif et curieux de tout, Robert est bon élève. Lorsque le recruteur du California Institute of Technology (CalTech) se présente en 1936, Robert est convoqué pour un entretien individuel : il passe quelques tests et décroche une bourse pour le prestigieux Institut. Il y passe trois ans sous la férule de brillants professeurs, puis tombe à court d'argent. Il interrompt alors ses études, travaille un an chez Lockheed Aircraft pour se renflouer, puis retourne sur les bancs et boucle son cursus. En 1942, son *bachelor of science* de CalTech en poche, et alors que les États-Unis sont résolument engagés dans le second conflit mondial, il entre comme ingénieur de test chez General Electric, au centre de recher-

che et développement de Schenectady (que ses habitants surnomment l'*Electric City*) dans l'État de New York. Il y contribue au développement des magnétrons à onde continue, conçus pour contrer les radars ennemis et dont certains serviront à la conception des premiers fours à micro-ondes. En janvier 1946, sur le conseil de son chef d'équipe Albert Hull [1880-1966], il retourne à CalTech avec une bourse du *Research Council* et passe un doctorat de physique nucléaire, sur la production de faisceaux de protons de haute intensité. Après sa thèse, qui a confirmé son goût pour la recherche, il retourne à General Electric. Nous sommes alors à l'été 1948 et John Bardeen [1908-1991] vient d'annoncer la naissance du transistor dans les *Physical Review Letters*. Hull, le papier de Bardeen à la main, passe voir Hall qui vient d'arriver dans l'équipe et, avec la décontraction que tous lui connaissent, lui propose d'y jeter un œil... L'amorce est belle ; Hall s'enthousiasme. Il se joint au groupe travaillant sur les diodes à germanium. Là, sa tâche se précise : il faut rendre la technologie fiable et reproductible, et donc purifier le matériau de base.

### Le transistor à germanium

C'est un objectif particulièrement audacieux, qu'il atteint pratiquement seul. Soyons plus précis : Hall développe une technique performante de purification du germanium et obtient un matériau d'un niveau de pureté jamais atteint auparavant. Il rend ainsi expérimentalement accessible la notion de semi-conducteur « intrinsèque ». Premiers pas dans l'Histoire. Premiers transistors à germanium de General Electric, aussi ; dans la foulée, Hall invente la méthode du *rate-*



*growing* qui permet de les produire en masse.

Mais l'électronique en est encore à ses débuts. Tout reste à découvrir. Indéniablement, Hall fait partie de ces esprits préparés, au bon endroit au bon moment. Et le destin s'en mêle : en étudiant les propriétés du germanium intrinsèque, il découvre par hasard le dopage par alliage. Il obtient du germanium dopé N en ajoutant de l'arsenic ; et du germanium dopé P avec une mystérieuse impureté qu'il finit par identifier comme étant du bore. Cette technique lui permet d'obtenir des jonctions PN par alliage, puis des transistors en coopération avec John Saby du centre General Electric de Syracuse. En dopant des substrats épais, Hall invente la diode PIN (composée de trois zones respectivement dopée P, non dopée ou intrinsèque I, et dopée N) qui est un élément incontournable de l'électronique moderne – et

dont la technologie ouvre la voie aux futurs thyristors PNPN.

D'un point de vue plus fondamental, ces structures à zone I se prêtent idéalement à l'étude fine des phénomènes de génération et recombinaison de porteurs de charge dans les semi-conducteurs. Hall constate que le modèle de William Shockley [1910-1989], qui fait alors foi parmi les spécialistes, n'arrive pas à rendre compte de ses résultats expérimentaux : il manque un facteur 2 dans une exponentielle... Lors d'un séminaire, Hall propose une variante du schéma de recombinaison : une transition en deux étapes, avec un niveau intermédiaire situé au milieu de la bande interdite, permettrait de recaler avec les mesures. L'idée est lumineuse ; mieux encore, elle permet de retrouver les durées de vie des porteurs minoritaires observées un peu partout. Shockley et W. T. Read Jr. des Bell Labs, reprennent l'idée et la mènent à terme. Ils aboutissent au mécanisme qui porte aujourd'hui leurs noms – la recombinaison non radiative Shockley-Read-Hall.

### La diode laser

En 1962, les Lincoln Labs obtiennent une émission optique intense dans une jonction en arséniure de gallium (GaAs). Pour beaucoup, la preuve est faite : la diode à semi-conducteur est un excellent (peut-être le meilleur !) convertisseur d'énergie électrique en rayonnement optique. Voilà qui conforte les idées et les efforts de plusieurs équipes qui, partout sur le globe, au CNET en France, au Ioffe Institute en URSS, à IBM aux États-Unis... tentent de réaliser un laser à semi-conducteur. L'idée date déjà un peu : John von Neumann [1903-1957] en a jeté les bases en 1953 et, l'année précédente, Maurice Bernard et Guillaume Duraffourg ont analysé les conditions d'un régime laser dans des systèmes à semi-conducteurs. Mais tout cela reste très théorique. L'annonce des Lincoln Labs lance véritablement la course.

Hall, fort de son expérience technologique et expérimentale sur les diodes, réunit une équipe autour du projet. Leur structure fait 300 microns d'épaisseur, avec des faces

polies de sorte à former la cavité Fabry-Pérot résonante directement sur la diode. Les électrons sont injectés au niveau de la jonction à l'aide d'un courant électrique, et non pas générés par une excitation optique. Très vite, l'équipe de Hall trouve le point de fonctionnement : le dimanche 16 septembre 1962, la diode en GaAs, refroidie à 77 Kelvin (la température de l'azote liquide) et sous une excitation électrique impulsionnelle, émet le premier rayonnement laser par injection. Contre toute attente, le plus difficile n'est pas vraiment d'obtenir un signal intense – mais plutôt de se convaincre qu'il s'agit effectivement d'un signal *laser*. Ils y parviennent en analysant les figures d'interférences en champs proche et lointain.

La nouvelle fait rapidement le tour des laboratoires et, en moins d'un mois, trois autres équipes américaines font fonctionner leur propre laser à injection.

### Les cellules solaires

Dans les années soixante-dix, la crise énergétique incite Hall à s'intéresser aux cellules solaires et autres générateurs photovoltaïques, cette fois sur du silicium. Il développe en 1976 une technique de croissance du silicium en feuillets et invente la célèbre cellule solaire de type Polka-Dot (littéralement, « à pois ») qui révèle une belle créativité d'opticien.

Dans les années quatre-vingt, toujours à la General Electric où il est devenu une légende vivante, Hall achève son cycle sur le germanium (étude des défauts de croissance, notamment) et s'intéresse aux précipités polluants qui se forment lors du process des circuits intégrés en silicium. Hall prend sa retraite en 1987, après une carrière entière passée à la General Electric, des centaines d'articles scientifiques et 43 brevets à son actif. Ses travaux ont un impact direct sur les fonctions et performances accessibles par les appareils électroniques, et donc sur notre vie technologique. Ses inventions (et leurs avatars) ont modelé notre univers quotidien : on les retrouve pratiquement partout, dans les fours à micro-ondes, les appareils utilisant une diode laser, les transmissions par fibre optique, les cellules solaires...

### Principales dates

- 25 décembre 1919**  
Naissance à New Haven (Connecticut, États-Unis)
- 1948** Doctorat de physique à CalTech
- 16 septembre 1962**  
Invention du laser à semi-conducteur à la General Electric
- 1977** Élection à la National Academy of Engineering
- 1978** Élection à la National Academy of Sciences
- 1989** Marconi International Fellowship
- 1994** Intrônisation au National Inventors Hall of Fame

### Les honneurs

Tout au long de sa carrière, et même après, Hall reçoit des honneurs et des marques de reconnaissance. En 1963, il obtient le Prix David Sarnoff en électronique ; en 1976, le Prix Jack A. Morton de la société IEEE ; en 1977, le prix de l'Electrochemical Society en physique et technologie de l'état solide. Il est élu à la National Academy of Engineering en 1977 et à la National Academy of Sciences en 1978. En 1989, il reçoit la prestigieuse Marconi International Fellowship pour la réalisation du premier laser à semi-conducteur. En 1994, honneur considérable, il est intronisé au National Inventors Hall of Fame.

Depuis la retraite, Hall maintient une activité de consultant en technologie des semi-conducteurs. Il est engagé dans des programmes d'éducation et de vulgarisation de la physique, auprès d'étudiants de Schenectady (où il vit toujours) ou de communautés défavorisées. Aujourd'hui encore, à près de 90 ans, cet homme discret reste une grande figure scientifique, et une mémoire active de l'âge d'or de l'électronique. ■

➤ **Riad HAIDAR**  
Onera  
[haidar@onera.fr](mailto:haidar@onera.fr)

### Référence

[1] Robert N. Hall, an oral history conducted in 2004 by Hyungsub Choi, IEEE History Center, New Brunswick, NJ, USA.