

Les inattendus du transistor

PIERRE AIGRAIN

Résultat espéré d'une coopération fructueuse entre trois physiciens émérites, le transistor a créé une industrie dont nul n'a prévu l'ampleur.

Avec la lampe électrique, le transistor est l'invention qui a le plus fort impact sur notre vie. Où que nous soyons dans un pays industrialisé, un transistor est à portée de vue, radio, montre, voiture, téléviseur : sur l'empire du transistor, le Soleil ne se couche jamais. Le chiffre d'affaires de l'industrie des semi-conducteurs est de 150 milliards de dollars, le PNB du Danemark. Il se fabrique 15 milliards de puces par an et deux millions de transistors par seconde. Le succès du transistor permet l'introduction de fonctions nouvelles dans les ordinateurs, fonctions qui expriment toutes les données qui « parlent » au cerveau.

La découverte du transistor a suivi un cheminement tortueux, mais pas tout à fait inattendu car, comme pour la lampe électrique, le but était défini ; elle est le fruit des travaux d'une équipe composée essentiellement de Shockley, Bardeen et Brattain. Ces chercheurs désiraient fabriquer des amplificateurs avec des semi-conducteurs. Ils réussirent, mais ce qu'ils découvrirent initialement n'était pas ce qu'ils cherchaient. Là réside l'inattendu.

LES SEMI-CONDUCTEURS, D'UTILES INCOMPRIS

Le mot semi-conducteur apparaît dans la littérature scientifique vers la fin du XIX^e siècle : il désigne certains corps aux propriétés intermédiaires entre les métaux et les isolants. La mystérieuse conductivité électrique de ces solides est extraordinairement variable en fonction de paramètres mal contrôlables.

On s'aperçoit parallèlement que la conductivité de certains semi-conducteurs augmente lorsqu'on les illumine. Tel est le cas, par exemple, du sélénium utilisé dans la confection des cellules photovoltaïques. On observe également que quand on établit un contact entre certains de ces semi-conducteurs et un métal,

un tel dispositif « redresse le courant ». En effet, quand le métal est porté à une tension positive par rapport au semi-conducteur sous-jacent, le courant passe très facilement ; quand la polarité est inversée, le courant ne passe plus.

L'industrie est opportuniste : elle n'attend pas de comprendre les finesses du fonctionnement des semi-conducteurs pour fabriquer des redresseurs au sélénium. Leur fabrication est empirique et relève de tours de mains difficilement reproductibles. Il n'empêche : pendant de longues années, ces dispositifs servent à redresser le courant alternatif que fournit l'EDF sur les prises de courant pour fabriquer le courant continu nécessaire au fonctionnement des tubes à vide.

Les électroniciens s'aperçoivent aussi qu'en utilisant une pointe métallique sur de nombreux corps semi-conducteurs, le courant alternatif est redressé, même à des fréquences très élevées. Ces dispositifs, constitués d'un morceau de galène (sulfure de plomb) sur lequel est appuyée une pointe, constituent les récepteurs des postes à galène.

Hélas pour le bon fonctionnement de tels détecteurs, la pointe est efficace à certains endroits et pas à d'autres, et l'on ignore pourquoi. On déplace la pointe un peu au hasard jusqu'à ce qu'on trouve un « point chaud », correspondant à une bonne écoute. À la moindre secousse, la pointe se déplace, bien entendu toujours dans le mauvais sens.

Vers 1939-1940 apparaissent les radars, où il faut, soit détecter, soit mélanger avec un oscillateur local, des signaux de fréquences très élevées : les tubes à vide ne suivent pas ces fréquences et les détecteurs à pointes sont alors indispensables. Pour une meilleure stabilité mécanique, on remplace le sulfure de plomb mou par un matériau dur, le silicium : ainsi naît l'industrie du silicium.

Deux petites découvertes précèdent celle du transistor : un chercheur améri-

cain de l'Université de Purdue, Saul Benzer, s'aperçoit qu'on peut fabriquer des redresseurs en utilisant non pas du silicium, assez difficile à manipuler (point de fusion très élevé, grande réactivité chimique qui rend les purifications difficiles), mais du germanium. De plus, S. Benzer stabilise la position de la pointe en procédant à une opération dite de formage, qui consiste à appliquer des chocs électriques pour souder la pointe.

Après cette brillante thèse, S. Benzer estime qu'il n'y a plus grand-chose à trouver dans les semi-conducteurs et se convertit à la biologie ; il est l'un des fondateurs de la biologie moléculaire.

LE MODÈLE DE WILSON

Le fonctionnement des semi-conducteurs reste mystérieux. En 1934, un Britannique, Wilson, propose le premier modèle expliquant les propriétés électriques des semi-conducteurs. Un semi-conducteur est un solide cristallin, et les atomes sont fixés aux nœuds de la maille cristalline ; la conduction est le fait des électrons plus légers, plus mobiles. Toutefois, pour conduire le courant, ceux-ci doivent se déplacer sous l'action d'une différence de potentiel. Le modèle de Wilson décrit dans quelles conditions ils se déplacent, dans quelles conditions ils ne se déplacent pas.

La mécanique quantique stipule que les électrons des atomes occupent des niveaux d'énergie croissante et qu'il ne peut pas y avoir plus de deux électrons sur le même niveau d'énergie. Quand tous les états d'énergie disponibles sont remplis par les électrons, ceux-ci ne peuvent se déplacer, le corps ne conduit pas l'électricité : c'est un isolant. Dans certains semi-conducteurs, il existe une autre série de niveaux vides, séparés de la première série de niveaux pleins par une bande d'énergie interdite. Les électrons, sous l'effet de la température par exemple, peuvent sauter sur les niveaux vides et conduire le courant.

Le modèle de Wilson énonce simplement : « Il y a une bande, dite de valence, où les niveaux d'énergie sont pleins, il y a une bande, dite de conduction, où les niveaux d'énergie sont vides. Entre les deux, il y a une bande interdite ». On s'en remet à l'expérience pour déterminer les paramètres de ces bandes. Le modèle de Wilson est toujours valable. Bien sûr, on sait aujourd'hui déterminer les paramètres du solide qui fixent les énergies des bandes et l'on explique, grâce au modèle, les variations de la conductivité avec la température.

L'interprétation grossière de la conductivité constitue l'état de l'art dans les années 1940. Le transistor n'existe toujours pas, mais une idée pointe : il semble