



**LE MANOIR DE FARM HALL** fut la prison dorée, mais secrètement équipée de microphones, de dix des physiciens les plus importants de l'*Uranverein*. Les conversations entre physiciens, notamment le jour où ils apprirent l'explosion de Hiroshima, suggèrent qu'à la fin de la guerre, les meneurs de l'*Uranprojekt* ignoraient toujours comment obtenir une bombe nucléaire.

d'éviter de parler de la bombe: «S'il devait être possible de construire une bombe atomique, vous serez forcés au travail. Et si deux ans après le début du projet, aucune bombe n'est là, alors vous serez perdus.» Tous les chercheurs et les cadres responsables craignaient donc de lancer un grand projet. Si l'on avait considéré que la bombe pouvait être obtenue en un temps raisonnable, le projet en aurait été lancé. Sans doute est-ce pourquoi il était préférable pour les physiciens allemands de ne pas se pencher trop intensément sur la physique de la bombe...

Assez générale au sein de l'*Uranverein*, cette attitude caractérisait tout particulièrement Heisenberg. Il y avait des raisons pour cela! En juillet 1937, le journal de la SS l'avait accusé d'être un «Juif blanc» – pour les nazis, quelqu'un censé se comporter comme un Juif sans l'être – parce qu'il pratiquait une physique «non allemande», à savoir la relativité et la physique quantique. Or la parution d'une attaque dans ce journal pouvait signifier un internement, puis la mort en camp de concentration... Heisenberg parvint à obtenir sa réhabilitation de Heinrich Himmler, le dirigeant de la SS, mais cela prit une année entière d'interrogatoires... Sans doute fut-il sauvé par les interventions de son collègue Ludwig Prandtl qui, en tant que directeur de l'institut Kaiser Wilhelm pour la recherche en dynamique des fluides jouait un rôle particulièrement important dans la montée en puissance de la *Luftwaffe*, l'armée de l'air

allemande. Sans doute est-ce à cette époque qu'il devint clair pour Heisenberg que l'on ne pouvait taire au régime nazi que ce que l'on ignorait. Comme le suggère son efficacité scientifique à Farm Hall, ne jamais avoir recherché sérieusement le principe de fonctionnement correct de la bombe pendant la guerre n'était pas la marque d'une incompétence, mais plutôt celle d'une clairvoyance.

Cela répond finalement à une question que se poseront peut-être certains physiciens: même si le fait de s'occuper d'une bombe irréalisable en un temps raisonnable pouvait passer pour du temps perdu, la curiosité si intense des physiciens allemands aurait dû les pousser à essayer de trouver quels phénomènes se produisent dans une telle machine infernale. Leur peur des nazis fut manifestement plus forte que leur curiosité.

Ainsi, les historiens ont répandu sur l'histoire de l'*Uranverein* une épaisse couche d'erreurs, malgré les objections de nombre de physiciens américains et allemands. Ma conclusion est simple: les chercheurs du III<sup>e</sup> Reich ignoraient comment construire la bombe atomique; dès lors, ils n'ont rien entrepris pour en construire une. Certes, le réacteur qu'ils ont essayé de faire fonctionner aurait pu être une première étape vers la bombe au plutonium. Toutefois, comme ils méconnaissaient la physique de la bombe, les recherches qu'ils menaient n'avaient en réalité qu'un objectif civil. Ce ne furent donc pas des limites économiques qui évitèrent que Hitler ne se retrouve doté d'une bombe atomique; en tout cas, les physiciens allemands n'ont jamais été près d'en obtenir une. En réalité, ces derniers ont fait un grand détour pour éviter d'avoir à construire une bombe nucléaire. La véritable raison de l'échec de l'*Uranverein* est la terreur que lui inspiraient les nazis.

Ainsi, nous pouvons avoir une pensée consolatrice: c'est bien l'effrayante inhumanité du régime nazi qui l'a privé d'arme nucléaire. Sous un régime démocratique, les chercheurs allemands auraient sans doute travaillé avec zèle à la bombe et peut-être avec la même efficacité que ceux du Projet Manhattan. Troublé d'être le découvreur de la fission nucléaire, Otto Hahn a sans doute prononcé les mots pouvant clore le débat sur l'*Uranverein*: «Je remercie Dieu à genoux de nous avoir évité de développer la bombe à uranium.» ■

## ■ BIBLIOGRAPHIE

M. Popp, *Misinterpreted documents and ignored physical facts: The History of « Hitler's atomic bomb »*, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, vol. 39, pp. 265-282, 2016.

B. C. Reed, *The Physics of the Manhattan Project*, Springer, 2015.

Rainer Karlsch, *Hitlers Bombe. Die geheime Geschichte der deutschen Kernwaffenversuche*, Dva, 2005.

Paul Rose, *Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project, 1939-1945*, University of California Press, 2001.

Hans Bethe, *The German uranium project*, *Physics Today*, vol. 53(7), pp. 34-36, 2000.

Mark Walker, *Nazi Science: Myth, Truth, and the German Atomic Bomb*, Perseus, 1995.

Mark Walker, *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power, 1939-1949*, Cambridge University Press, 1995.

Otto Hahn, *Mein Leben*, Bruckmann, 1968.

## LOGIQUE & CALCUL

### Vers du calcul sans coût énergétique

*De nouvelles expériences sur de petits calculs confirment qu'un minimum d'énergie est nécessaire pour les effectuer. Mais la maîtrise du calcul réversible pourrait rendre caduc cet obstacle thermodynamique.*

Jean-Paul DELAHAYE

L'information est-elle un concept physique comme l'énergie ou la masse, ou un concept purement mathématique qui n'a de sens que pour des êtres doués d'intelligence et qui n'intervient directement dans aucune loi proprement physique ?

En thermodynamique, on se pose cette question depuis longtemps et plus particulièrement depuis que l'on a noté des similarités entre la notion d'entropie physique,

née au XIX<sup>e</sup> siècle avec Rudolf Clausius, et la notion d'entropie mathématique, dont la théorie de l'information de Claude Shannon a proposé une première version, complétée par Andreï Kolmogorov.

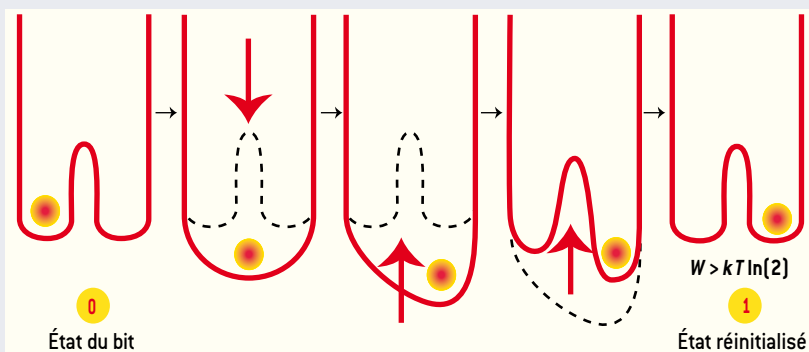
La question est directement liée à celle du coût minimal des opérations de calcul, qui détermine le devenir à long terme de tous nos dispositifs informatiques. Mais elle est aussi importante sur un plan philosophique, pour savoir si la physique doit devenir une

théorie matérielle de l'information. Où en sommes-nous aujourd'hui sur ces questions ?

Nos microprocesseurs chauffent, ce qui est devenu un problème avec la miniaturisation des circuits. Plus précise que la « loi de Moore » qui prédit un doublement de la puissance de calcul des puces informatiques tous les 18 mois, la « loi de Koomey » indique que, grâce à la miniaturisation, le nombre d'opérations de calcul par joule dépensé double tous les 18 mois environ. L'étude des chiffres

### Le principe de Landauer testé avec succès

Le principe de Landauer énonce que lorsqu'une opération logique irréversible est menée, par exemple effacer une information dans une mémoire d'ordinateur, alors une certaine énergie est inévitablement dépensée ; à l'issue de l'opération, elle se retrouve sous forme de chaleur dans l'environnement du dispositif. Ce principe est discuté depuis 1961. C'est seulement depuis 2012 que l'on a réussi à mener des expériences suffisamment précises pour le tester (voir les quatre références de la bibliographie signalées par un astérisque).



La plupart des expériences consistent à créer une mémoire de un bit en piégeant une particule dans un double puits de potentiel (*trait rouge*). Selon que la particule est dans le premier puits ou le second, un 0 ou un 1 est mémorisé. Si la particule est en 0, on peut de façon réversible (donc sans coût en énergie) la déplacer en 1. De même, si elle est en 1, la laisser en 1 n'a aucun coût. En revanche, si l'on veut que, quelle que soit sa position initiale (pas forcément connue), elle se retrouve en 1 (réinitialisation), alors le processus (*ci-contre*) exige un minimum d'énergie. Quatre expériences concluant en faveur du principe de Landauer ont été menées depuis 2012 : à chaque fois, en s'y prenant au mieux, la réinitialisation exige un minimum d'énergie qui correspond à celui donné par le principe de Landauer ( $kT \ln(2)$ ,  $T$  étant la température absolue et  $k$  la constante de Boltzmann).