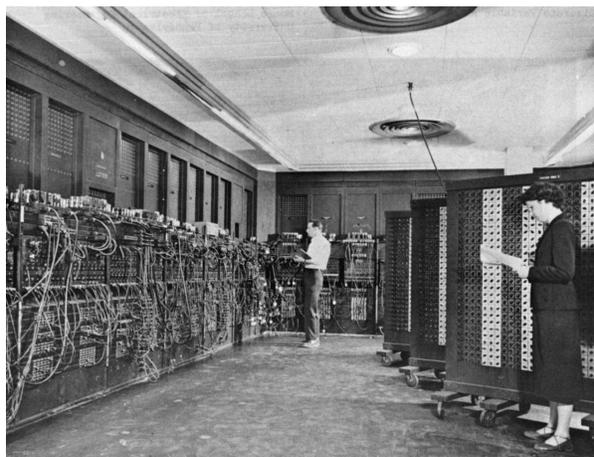


## 5 Un progrès géant dans un monde miniature

En 1943, Thomas Watson disait «Je pense qu'il existe un marché mondial pour, peut-être, cinq ordinateurs». Il existe maintenant plus de deux milliards d'ordinateurs dans le monde. Ces cinq ordinateurs représentent 0,00025 % de tous ces appareils. Qui est donc cet homme qui n'a su voir tout le potentiel derrière ces machines? Il s'agit à l'époque du président-directeur général du *International Business Machines Corporation*, mieux connu sous le nom d'IBM. Ce que Thomas Watson ignorait à ce moment, c'est qu'une course vers la miniaturisation des ordinateurs allait débiter. En effet, de l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator Analyser and Computer*, le premier ordinateur entièrement électronique, cf. figure 1) jusqu'aux ordinateurs portatifs de nos jours, la façon de faire des calculs au sein de l'ordinateur n'a pas changé. C'est plutôt la miniaturisation des transistors, ces petites composantes qui sont la base de tous les appareils électroniques, qui est responsable de l'amélioration des performances des appareils électroniques.

De plus petits transistors permettent aux fabricants d'en intégrer un plus grand nombre dans les appareils et donc de pouvoir faire plus de calculs en un temps donné. La miniaturisation se fait à un rythme endiablé : depuis les 50 dernières années, la densité des transistors a doublé tous les deux ans. Voilà un progrès géant dans un monde miniature. Ce progrès vient toutefois avec un certain coût : il devient de plus en plus dispendieux pour les fabricants de transistors de maintenir la cadence. En effet, la plus récente génération possède une grille (lieu où les électrons circulent ou non selon le potentiel) d'une largeur de 14 nanomètres. Cette grille est donc 10 000 fois plus étroite que le diamètre d'un cheveu !



Crédit : *Wikipedia*

FIGURE 1 – L'ENIAC pesait trente tonnes et occupait une surface de 176 mètres carrés

Une réduction de la taille de la grille sous quatorze nanomètres, c'est-à-dire au point où nous sommes rendus avec la technologie actuelle, entraîne des problèmes supplémentaires – et donc des coûts supplémentaires – aux défis déjà présents. C'est pourquoi certaines compagnies décident maintenant de se spécialiser dans la conception de nouveaux produits utilisant des générations de transistors bien maîtrisées afin de trouver de nouveaux marchés niches et pouvoir survivre aux grandes entreprises qui peuvent se permettre de poursuivre la course à la miniaturisation. Comme il devient de plus en plus important pour ces plus

petites compagnies de diversifier leur portefeuille de produits, il y a fort à parier que plusieurs nouvelles fonctionnalités feront leur apparition dans la technologie couramment utilisée par la population dans les prochaines années.

Quel est donc le processus qui se cache derrière les dispositifs électroniques déjà utilisés et à venir ? Bien qu'il n'existe pas une recette simple et universelle vers la mise en marché de circuits intégrés possédant de nouvelles fonctionnalités, certaines étapes générales demeurent valables. Tout commence par une idée et la conception du dispositif. Viennent ensuite la fabrication et la caractérisation de la nouvelle composante électronique. À tout moment, il peut devenir nécessaire de revenir à une étape antérieure afin d'apporter des modifications. Regardons un peu plus attentivement ce que comportent ces étapes, leur pertinence, leur importance, ainsi que des exemples concrets d'étapes qui sont réalisées quotidiennement à l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique.

Comme mentionné ci-dessus, la première étape est bien sûr d'imaginer un nouveau dispositif électronique qui n'existe pas déjà ou qui présente théoriquement des améliorations considérables face aux dispositifs similaires déjà sur le marché. Pensons par exemple à une mémoire plus performante ou, dans le cas d'un projet actuellement en développement à l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique, à un capteur de gaz largement miniaturisé. C'est lors de cette étape que tout le travail théorique est effectué. Le circuit électrique équivalent au dispositif est étudié sur des logiciels permettant de simuler le comportement du circuit dans différentes conditions. Cette étape permet de modifier le dispositif afin d'obtenir les résultats optimaux. Elle permet aussi de voir les conditions limites de l'environnement du dispositif. La partie la plus cruciale de la conception est la réflexion par rapport au processus de fabrication, puisque les méthodes de fabrication et la variation du comportement du dispositif selon la taille à laquelle il est fabriqué peuvent devenir des facteurs limitants. Par exemple, nous pouvons tous imaginer un nouveau modèle d'avion qui pourrait transporter dix fois plus de passagers que les avions commerciaux actuels. Il ne suffit en effet que d'avoir l'image d'un avion en tête et d'agrandir ses dimensions jusqu'à ce que la taille désirée soit atteinte. Cependant, si nous voulions réaliser cet avion, nous rencontrerions un problème considérable : l'avion serait fort probablement trop lourd pour pouvoir décoller. Nous ne pourrions peut-être pas trouver de moteurs assez performants et il faudrait réfléchir à un nouveau modèle de moteur qui ne ressemble en rien aux moteurs d'avions actuels pour pouvoir permettre à l'avion de décoller. Un autre facteur important est le coût du système. Pour que l'avion soit intéressant, il doit être rentable. S'il consomme beaucoup plus de carburant par passager, il ne sera pas rentable pour les compagnies aériennes d'acheter ce nouvel avion. Voilà à quoi sert le processus de conception. Il permet de simuler le vol de l'avion pour s'assurer qu'il est rentable et qu'il n'est pas trop lourd pour décoller avec les moteurs que nous avons à notre disposition. Une fois qu'il a été déterminé théoriquement que l'avion peut décoller, que celui-ci peut contenir le nombre de passagers requis sans qu'il ne coûte trop cher et que les étapes de fabrication sont connues, la prochaine étape dans le processus est de fabriquer l'avion.



La fabrication de dispositifs électroniques s'effectue en salle blanche. Dans une telle salle, la température, la pression et l'humidité sont contrôlées et maintenues à des valeurs précises. Afin de limiter la quantité de poussière, l'air est régulièrement filtré par des filtres hautement performants. La salle blanche à l'Institut interdisciplinaire d'innovation technologique a une surface de 200 mètres carrés. Le volume total de l'air est filtré toutes les deux minutes. Il y a donc une grande circulation d'air. La fabrication du dispositif doit se faire dans ses conditions très précises, car un simple grain de poussière qui se dépose sur celui-ci peut le rendre inutilisable. Cela peut sembler excessif puisque nous utilisons des appareils électroniques à l'air ambiant tous les jours, mais il y a une différence entre exposer le dispositif à l'air ambiant pendant sa fabrication et l'exposer suite à sa fabrication. Une fois le dispositif fabriqué, il est encapsulé. Il est donc protégé de l'exposition à la poussière. En revanche, il n'est pas protégé pendant sa construction. Toute la construction se fait selon un procédé qui se nomme la photolithographie. La photolithographie est un ensemble d'opérations qui permettent de transférer un motif d'une surface à une autre. Comme pour les tatouages temporaires pour enfants, un motif se trouve sur un masque qui est mis en contact avec la surface sur laquelle le motif est désiré. Ainsi, si un grain de poussière de quelques micromètres se trouve entre le motif qui peut faire quelques nanomètres, donc des milliers de fois plus petits qu'un grain de poussière, et le substrat, il va de soi que le motif sera totalement masqué par le grain de poussière. Ce même grain de poussière qui viendrait se déposer sur la capsule qui enrobe le système n'aura cependant aucune conséquence fâcheuse. À la différence du tatouage pour enfant, il ne suffit pas de mettre en contact le motif avec le substrat. Il faut aussi éclairer le substrat vivement avec une lampe à rayonnement ultraviolet. En effet, une résine sensible à la lumière qui a préalablement été appliquée sur le substrat peut être dissoute lorsqu'elle est exposée à des photons avec une énergie suffisante. C'est cette dissolution qui permet d'imprimer le motif du masque sur le substrat. Une fois le motif imprimé, on effectue différentes étapes intermédiaires de gravures ou de dépôts de métaux sur les motifs afin d'obtenir le système souhaité. Souvent, plusieurs étapes de photolithographies sont nécessaires pour conférer au dispositif les caractéristiques désirées. Lorsque la fabrication est terminée, le dispositif est prêt à être caractérisé.

La caractérisation est la dernière partie du processus de création du dispositif. Différents appareils sont utilisés à cette étape pour faire ressortir les caractéristiques du dispositif fabriqué. Cette étape est l'occasion de comparer les résultats expérimentaux avec les prédictions théoriques faites lors de la conception du dispositif. C'est l'occasion de voir si, en reprenant l'exemple plus haut, l'avion décolle réellement. Des tests intermédiaires sur certaines parties de la structure peuvent être effectués de façon préliminaire. Les résultats obtenus lors de la caractérisation permettent d'optimiser le procédé de fabrication en effectuant plusieurs essais et en retenant la méthode qui donne les meilleurs résultats. Comme on pourrait imaginer faire varier l'inclinaison des ailes de l'avion et observer ses performances au décollage, on peut aussi effectuer des modifications similaires sur le dispositif que ce soit en variant les dimensions des motifs ou en changeant les résines utilisées lors de la photolithographie. Il est bien sûr important de limiter le nombre de paramètres qui varient d'une tentative à l'autre.

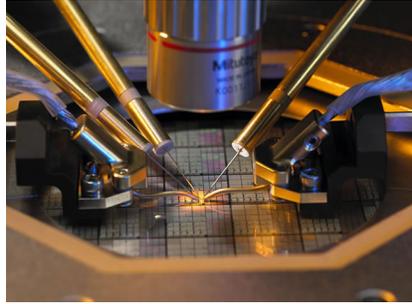


FIGURE 2 – Station sous-pointe utilisée pour observer le comportement électrique

Effectivement, si un nouveau problème survient, il est important de savoir quel paramètre en est responsable. Une fois la recette optimisée et le dispositif fonctionnel, le processus de fabrication est terminé.

De là peut commencer un nouveau processus de conception. La miniaturisation n'est jusqu'à présent pas encore parvenue à sa finalité. Une autre équipe de recherche peut donc éventuellement reprendre le dispositif pour y apporter ses améliorations. C'est ainsi que fonctionne l'industrie depuis maintenant plus de cinquante ans pour chaque génération de transistors. Ce sont ces étapes qui sont responsables du progrès de la technologie et qui nous ont permis de fabriquer des téléphones intelligents ainsi que des ordinateurs portatifs. Ainsi, la méthode de conception d'un nouveau système de capteur de gaz comme celui réalisé lors du présent stage n'est pas une révolution complète dans le domaine de l'électronique. Le dispositif devrait cependant pour sa part présenter un nouvel intérêt dans un marché peu exploité et faire une contribution réelle au progrès de la technologie.

