

Chapitre II

Le matériel

–

Premier épisode

La carte-mère

Après un paragraphe introductif à propos du matériel informatique et un autre à propos de mes sources, cet épisode traitera de circuits électriques en général et de la carte-mère en particulier.

Cette partie contient:

- Matériel et logiciel
- Liliane Bettencourt
- La carte-mère: aperçu
- Quelques définitions
- Fabrication artisanale d'un circuit imprimé
- L'industrie du circuit imprimé
- Un point lexical

Matériel et logiciel

Je cherche à comprendre comment s'imbriquent logiciel et matériel, c'est-à-dire sous quelles différentes formes un programme – qui se présente d'abord comme un texte, une production de l'esprit – existe ensuite dans les circuits d'un ordinateur.

Comment un être humain peut-il échanger avec une machine? Comment une pensée peut-elle se communiquer à du métal? Comment un désir, devenu électricité, est-il pris en charge par un ordinateur? Que se passe-t-il, dans cet appareil, pour qu'il me donne le sentiment qu'il m'obéit? Où se situe la frontière, en apparence si nette, entre *software* et *hardware*?

C'est en gardant ces questions en tête que j'évoquerai, dans ce chapitre, le matériel, puis, dans le suivant, les langages de programmation.

Du matériel, je donne cette définition grossière et provisoire: c'est ce qui peut être touché, ce qui se voit à l'œil nu.

Dans les épisodes suivants, qui formeront notre deuxième chapitre, je décrirai, un peu en vrac, les composants d'un ordinateur individuel: carte-mère, processeur, mémoires diverses, périphériques.

Liliane Bettencourt

Dans mon effort pour comprendre quelque chose au matériel informatique, j'ai d'abord consulté la [section qui traite de ce sujet](#) dans le *Guide d'autodéfense numérique*.

Puis j'ai ouvert trois ouvrages de vulgarisation écrits par Gérard Berry, professeur émérite au Collège de France (voir également ses cours disponibles sur le [site du Collège de France](#)):

- *Pourquoi et comment le monde devient numérique* (Paris, Collège de France/Fayard, 2008 – il s'agit de la leçon inaugurale qu'il a prononcée lors de la création de la chaire d'*Innovation technologique–Liliane Bettencourt*, en 2008);
- *L'Hyperpuissance de l'informatique* (Paris, Odile Jacob 2017);
- *La Pensée informatique* (Paris, CNRS Éditions/De vive voix, 2019).

Je me suis aussi appuyé sur le manuel *Architecture et technologie des ordinateurs*, de Paolo Zanella, Yves Ligier et Emmanuel Lazard (6^e édition, Paris, Dunod, 2018).

Deux leçons de Didier Roux, directeur de l'Innovation du groupe Saint-Gobain, à son tour titulaire, en 2016-2017, de la chaire *Liliane Bettencourt* du Collège de France, rassemblées sous le titre *La Saga du numérique*, m'ont permis de fixer quelques repères (leçon 1: [De la machine à calculer à l'invention du transistor](#); leçon 2: [De l'ordinateur à la prolifération du digital](#));

À tout cela, enfin, se sont ajoutées des centaines de pages Web, peut-être des milliers.

La carte-mère: aperçu

La carte-mère est un circuit imprimé sur lequel vient se brancher le reste du matériel. C'est par elle, par ses pistes électriques, que communiquent les divers éléments du système.

Elle est équipée d'une puce contenant un micrologiciel, appelé BIOS (pour *Basic Input Output System*, «système élémentaire d'entrée/sortie»), qui sera le héros du prochain épisode – je n'en parlerai pas dans celui-ci.

Quelques définitions

Circuit électrique

Un circuit électrique se définit comme une «suite de conducteurs formant un parcours fermé, à travers lesquels peut passer un courant électrique» (je cite le [Trésor de la Langue Française informatisé](#)).

En gros: un courant électrique sort par une borne d'un générateur, traverse différents composants, retourne au générateur par son autre borne.

Circuit imprimé

Un circuit imprimé (en anglais *printed circuit board*), c'est un « support isolant qui porte les liaisons conductrices nécessaires à la connexion des divers composants d'un équipement électronique » – cette définition se trouve dans le lexique de l'ouvrage déjà cité, *Architecture et technologie des ordinateurs* (p.583).

Il s'agit d'une plaque assurant un double rôle : tenir les composants en place, les relier électriquement.

Carte électronique

Je trouve dans le même ouvrage cette précision (p.144) : « On appelle carte un circuit imprimé avec tous ses éléments. »

En anglais, la distinction entre circuit et carte semble moins nette : le premier se dit *circuit board*, et la seconde *board* – la carte-mère est quant à elle appelée *motherboard*.

(Au passage, « carte », en français, c'est du carton ; et « carton » se dit en anglais *cardboard* – tous ces mots font référence au même objet.)

Carte-mère et carte-fille

Le mot « carte-mère » est à penser dans un rapport à la « carte-fille » (en anglais *daughterboard*), circuit qui se branche sur une carte-mère et permet d'ajouter à celle-ci des fonctions qu'elle n'avait pas en sortie d'usine. On parle ainsi de carte mémoire, carte son, carte graphique ou carte réseau.

Circuit intégré, puce

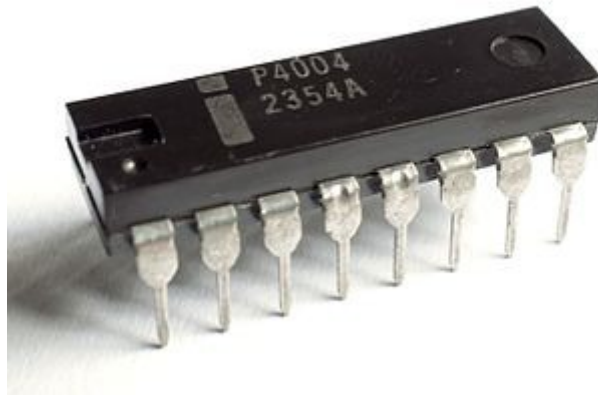
Un circuit intégré (en anglais *integrated circuit*), aussi appelé puce (*chip*) est un « circuit électronique réunissant dans un même boîtier les composants et les connexions nécessaires à la réalisation d'une fonction » (définition tirée du lexique d'*Architecture et technologie des ordinateurs*, toujours page 583) – j'ajoute deux exemples de ces fonctions : processeur et mémoire.

Il s'agit d'un circuit miniaturisé, occupant une surface de quelques millimètres ou centimètres carrés, qui peut aujourd'hui contenir plusieurs milliards de composants minuscules (nous en reparlerons au troisième épisode).

Il se présente (je cite cette fois-ci la page 143) sous la forme d'une « plaquette de silicium » placée « dans un boîtier duquel sortent des broches ou des pattes [*pins*] ».

Un exemple de puce : le 4004 d'Intel

L'image suivante, trouvée sur [Wikimedia](#), montre une pièce historique, puisqu'il s'agit du 4004 d'Intel, premier microprocesseur, c'est-à-dire (je cite [Wikipedia](#)) « première intégration réussie de toutes les fonctions d'un processeur sur un seul et unique circuit intégré », à avoir été commercialisé – en 1971 :



Après enquête, j'apprends que Thomas Nguyen, l'auteur de cette photo, collectionne les processeurs et [tient un site](#) – il précise que cet exemplaire du 4004 a été «fabriqué en Malaisie, la 45^e semaine de 1976». On peut voir [ici](#) le processeur renversé sur le dos. Le 4004 contient 2300 transistors; le circuit qui se trouve à l'intérieur du boîtier mesure 3 millimètres sur 4.

Je n'ai pas réussi à trouver la longueur totale de la pièce, mais on voit que, sur cet [exemplaire en céramique](#) (vendu sans le boîtier en plastique), le circuit proprement dit occupe, en longueur, un espace correspondant à cinq broches; la longueur totale du composant ne doit pas excéder un centimètre.

Intégration

L'intégration, c'est l'«action d'incorporer un ou plusieurs éléments étrangers à un ensemble constitué, d'assembler des éléments divers afin d'en constituer un tout organique» (cette définition provient du [TLFi](#)).

Un circuit est dit intégré quand ses composants forment un ensemble dont nulle partie ne peut être retranchée sans dommage pour le tout.

On aperçoit ici que la miniaturisation et l'intégration du matériel, tout en augmentant la puissance des machines, rendent difficile leur examen et leur modification.

Fabrication artisanale d'un circuit imprimé

La plaque où sera gravé le circuit est constituée d'un matériau isolant composite – tel que de la résine époxy sur une armature de fibre de verre –, puis recouverte d'une couche de cuivre, qui est conducteur, et enfin d'un vernis protecteur, sensible à la lumière.

La transformation de ce support en circuit imprimé passe par les étapes suivantes :

- Dessin du typon. Les lignes électriques du circuit, tel qu'il a été pensé par son concepteur, sont dessinées sur une feuille transparente appelée typon : des traits noirs, correspondant aux différentes liaisons entre composants, apparaissent donc.
- Insolation. Le typon est positionné sur la plaque, qui est alors insolée par éclairage aux ultraviolets : le vernis qui la recouvre devient soluble partout où il n'était pas protégé par le dessin.

- Révélation. La plaque est plongée dans un bain de liquide dit révélateur – il s'agit d'un produit basique, tel que de la soude caustique, dont l'action dissout le vernis partout où il a été insolé. Sur la plaque demeurent donc des zones de cuivre non protégé et des zones, correspondant au dessin du circuit, où le cuivre est recouvert de vernis.
- Gravure. Le circuit est plongé dans une solution, qui peut être de perchlorure de fer, de persulfate de soude, de persulfate d'ammonium ou encore d'acide chlorhydrique allongé d'eau oxygénée – ce qui donne apparemment du peroxyde d'hydrogène ; ce bain dissout le cuivre où il était à nu.
- Retrait du vernis. Le vernis qui se trouve sur les pistes de cuivre est éliminé par frottement de la plaque avec un chiffon imbibé d'acétone ou d'alcool à brûler.
- Étamage. Le circuit est plongé dans une solution d'étain chimique à froid, qui se fixe sur le cuivre, garantissant une meilleure conductivité et de meilleures soudures.
- Perçage. La plaque est percée de trous où seront implantées les broches des composants – la soudure se fera par le dessous.

Je suis censé avoir appris tout cela en cours de technologie au collège, mais il ne me restait pas grand-chose de cet enseignement. J'ai donc rédigé ce qui précède en partant de la page Wikipedia consacrée au [circuit imprimé](#). J'ai aussi consulté des sites tels que [bidouille.org](#) ou [www.hb9afo.ch](#) – j'ai particulièrement apprécié les recommandations en matière de sécurité que leurs auteurs faisaient au lecteur.

(Inutile de préciser que les opérations de fabrication et d'assemblage des circuits imprimés, qu'ils soient faits maison ou usinés, nécessitent l'emploi de produits chimiques variés, dangereux, nocifs, polluants.)

L'industrie du circuit imprimé

De ce que j'ai pu lire de la fabrication industrielle des circuits imprimés, je retiens trois éléments:

- les plaques sont généralement multicouches ;
- la plupart des composants ne sont pas fixés au circuit par soudage, mais par brasage ;
- le soudage, quand il est nécessaire, est effectué à la vague.

Circuit multicouche

Un circuit multicouche fait alterner couches de résine et couches de cuivre – une carte-mère peut compter quatre, six ou huit couches de cuivre, voire plus.

On trouve sur le site du fabricant [DB Electronic](#) des vues en coupe de ces plaques, ainsi que des photographies des machines utilisées ([ici](#)) ainsi que du produit fini ([là](#)).

Des [vias](#), décrits sur Wikipedia comme des «trou[s] métallisé[s]», permettent «d'établir une liaison électrique entre deux couches».

Brasage

Le brasage consiste à assembler des métaux en les chauffant, sans toutefois aller jusqu'à les faire fondre ; la chaleur produit une réaction chimique qui homogénéise leur jonction.

La miniaturisation des pièces permet que la plupart soient aujourd'hui fixées par brasage, technique plus rapide, plus économique et, je suppose, moins dommageable pour les composants que la soudure ; les pièces concernées sont appelées [composants montés en surface](#) (CMS) – ils n'est pas besoin que leur pattes traversent le circuit.

Une [crème à braser](#) (on parle aussi de gel ou de pâte), formée d'une poudre métallique en suspension dans un liquide visqueux appelé flux de brasage, est utilisée au cours de cette opération, qui suit les étapes suivantes :

- Application de la pâte : un masque, plaque métallique percée de trous correspondant aux points de jonction entre les composants et le circuit, est placé sur le support ; le produit est appliqué à la raclette et se dépose sur la plaque là où le masque le laisse passer. Cette opération, parfois qualifiée de « sérigraphie », est effectuée par une imprimante à pâte à braser (*solder paste printer*).
- Pose des composants : une machine place les composants sur la crème, dont la consistance les maintient en place (l'article de Wikipedia précise joliment : « Leurs pattes [sont] piégées dans ce produit visqueux »).
- Refusion : la plaque est passée dans four, dont la température ne doit pas trop monter, au risque d'abîmer les composants (elle atteint les 250 degrés pour un circuit imprimé).

Soudage à la vague

Les pièces les plus grosses sont fixés par soudage à la vague : le circuit passe au-dessus d'un bain d'étain en fusion ; une vague de ce métal, produite par une pompe, venant lécher le dessous de la plaque, se dépose sur les pattes des composants.

Sur la page du Wikipedia anglais consacrée au [wave soldering](#) (« soudage à la vague »), j'apprends que cette technique est aussi utilisée pour fixer les composants montés en surface – dans ce dernier cas, la plaque est approchée du métal en fusion avec les composants orientés vers le bas, les pièces ayant été préalablement fixées par un point de colle.

Un point lexical

Je lis sur [Wikipedia](#) qu'il faut distinguer entre brasage tendre (effectué à moins de 450 degrés) et brasage fort (au-dessus de 450 degrés). J'y lis aussi que le brasage fort se dit en anglais *brazing*, et que le brasage tendre est appelé *soldering* : on y reconnaît une racine commune avec le français « soudage ».

Puisque le soudage implique que les métaux à assembler entrent en fusion, cette opération ne peut s'effectuer qu'à des températures supérieures à celles utilisées pour le brasage. En français, le soudage commence donc où s'arrête le brasage. En anglais c'est l'inverse : il est

question de *soldering* jusqu'à une certaine température, et de *brazing* au-delà. (Heureusement, la langue espagnole ne connaît que la *soldadura*.)

Je comprends maintenant que le soudage à l'étain, tel qu'il se pratique en amateur avec un fer à souder, est une forme de brasage : ni les pattes des composants ni le cuivre n'entrent en fusion.

Et je réalise alors que c'est très improprement que j'ai parlé de soudage à la vague : le point de fusion du cuivre se situant à plus de 1000 degrés, les cartes-mères ne peuvent être assemblées que par brasage.

En parlant de soudage à la vague, je propage un anglicisme qui se retrouve partout sur le Web français.

*

C'est la fin de cet épisode ; le prochain, assez digressif, nous conduira dans une usine de fabrication de cartes-mères et me donnera l'occasion de râler sur les contenus Web.

Contact : compilation@pauljimenes.fr



Ce texte est publié sous licence Creative Commons.