

MOS 6502

Le microprocesseur à 25\$ qui déclencha la révolution informatique

Stéphane FOSSE

fosse.fr

31 janvier 2026

Copyright : cette œuvre est libre, vous pouvez la copier, la diffuser et la modifier
selon les termes de la [Licence Art Libre](#)

En septembre 1975, MOS Technology livra le 6502, microprocesseur 8 bits vendu 25\$ — six fois moins cher que le Motorola 6800 lancé un an plus tôt. Cette différence de prix ne s'expliquait pas par un compromis technique. L'équipe de Chuck Peddle et Bill Mensch, partis de Motorola en août 1974, avait conçu un processeur plus performant sur un *die* plus petit, avec des rendements de fabrication supérieurs. Le 6502 équipa ensuite l'Apple II, l'Atari 800, le Commodore 64, la BBC Micro et la Nintendo Entertainment System.

Une conception sous contraintes

MOS Technology n'était pas une startup. La société existait depuis 1969 comme fabricant de circuits intégrés pour calculatrices, rachetée par Allen-Bradley pour produire en seconde source les puces de Texas Instruments. En 1974, avec la crise du pétrole et l'effondrement du marché des calculatrices, les fondateurs Mort Jaffe, John Paivinen et Don McLaughlin cherchaient à diversifier l'activité. Peddle proposa de concevoir un microprocesseur bas coût pour le marché des systèmes de contrôle industriel — exactement ce que Motorola avait refusé de poursuivre.

L'environnement de conception différait radicalement de celui de Motorola. Pas de budget illimité, pas d'outils de simulation avancés. L'équipe disposait d'un mini-ordinateur Data General Nova avec 16 Ko de RAM et un disque dur de 5 Mo, d'une station Calma GDS pour numériser les masques, et de feuilles de mylar sur lesquelles dessiner les schémas au crayon à mine plastique. Bill Mensch, qui avait travaillé sur le 6800 chez Motorola, se souvient : « We had to manually/mentally simulate/check the logic and use very limited circuit simulation ».

Le workflow de conception commençait par le schéma logique tracé sur mylar. Rod Orgill et Mensch dessinaient les transistors un par un, avec leurs dimensions annotées. Un nombre simple (comme 0,7) indiquait la largeur de grille d'un transistor NMOS avec longueur standard de 0,35 mil. Une notation fractionnaire (comme 0,3/0,8) précisait largeur et longueur. Cette longueur minimale de 0,35 mil correspondait à un nœud technologique d'environ 8,9 microns — large selon les standards actuels, mais audacieux pour 1974.

Une fois le schéma finalisé, les designers de masques — Harry Bawcom, Terry Holdt, Michael Janes — transformaient ces circuits en cellules réutilisables dessinées sur film Stabilene. La technique des *paper dolls* permettait de découper, photocopier et coller ces cellules pour composer le layout final. Un opérateur Calma numérisait ensuite chaque cellule sur la station GDS, qui pouvait les répliquer et tracer le masque complet sur un *plotter* équipé d'une lame de précision découpant du film Rubylith rouge. Les sections indésirables étaient retirées à la main lors de *peeling parties* — événements dont se souvient Albert Charpentier, designer chez MOS de 1974 à 1982.

Les choix techniques qui changèrent tout

Le processus de fabrication, baptisé « 019 », nécessitait sept masques pour produire ces couches : diffusion, implantation deplétion, contact enterré, polysilicium, pré-contacts ohmiques, métal (aluminium) et passivation (dioxyde de silicium). Terry Holdt, ingénieur procédé chez MOS, avait développé ce processus NMOS à charge de déplétion en environ 50 étapes. La décision d'utiliser des transistors deplétion-load plutôt qu'enhancement-load se révéla déterminante.

Dans une porte logique NMOS traditionnelle, le transistor de charge (pull-up) opère en mode enhancement : sa source et sa grille sont liées ensemble. Cela limite le courant quand la tension de sortie augmente. Avec un transistor deplétion-load, la grille et la source restent liées, mais le transistor maintient un courant de source

fort même à haute tension de sortie. Résultat : des temps de montée plus rapides pour la même consommation statique.

Motorola connaissait cette technique. Le 6800 utilisait initialement des enhancement-loads, produisant des *dies* de 212 mils (5,4 mm) de côté avec des rendements catastrophiques — environ 20% sur wafers de 3 pouces. Ed Armstrong, directeur de l'ingénierie des procédés chez Motorola, s'était même fait pousser la barbe en promettant de ne la raser qu'après avoir obtenu 10 *dies* fonctionnels par wafer. Mais en 1974, pendant la conception du 6502, Motorola refusa d'autoriser Bill Mensch à tester les depletion-loads. Tom Bennett, responsable de la conception du 6800, jugeait le procédé *a little risky*.

MOS Technology n'avait pas ces réticences. Le *die* final du 6502 mesurait $4,27 \times 4,65$ mm (168×183 mils), contenant 3 510 transistors et 1 018 pullups depletion. Plus petit, plus rapide, meilleur rendement.

Mensch appliqua également des règles de conception conservatrices qu'il avait développées chez Motorola. En 1971-1972, jeune ingénieur en rotation dans différents départements, il avait découvert que les transistors étroits présentaient un seuil de tension plus élevé que prévu. Les concepteurs mémoire ne l'avaient pas cru. Il convoqua une réunion (« MEETING TO PICK BILL'S SIMULATION NUMBERS ») en y incluant accidentellement Jack Haenichen, vice-président fraîchement nommé, dans la liste des destinataires. Tout le monde se présenta. Mensch imposa ses paramètres de simulation — les pires cas de tous les modèles existants.

Ces marges de sécurité, jugées excessives chez Motorola, devinrent un atout chez MOS Technology. Le processus tolérait mieux les variations de fabrication, et les rendements grimperent.

Le lancement et l'effet de levier

WESCON 75, salon professionnel à San Francisco en septembre 1975. MOS Technology présenta le 6501 et le 6502 — deux variantes partageant les mêmes masques sauf la couche métallique. Le 6501, compatible brochage avec le Motorola 6800, laissait le générateur d'horloge deux phases déconnecté. Le 6502 l'activait, perdant la compatibilité mais gagnant en autonomie. Prix affiché : 25 *pice*, contre 179 pour le 6800.

L'organisateur du salon interdit à MOS de vendre des produits sur place. Peddle loua une suite dans un hôtel voisin et vendit des 6502 dans un bocal. Steve Wozniak, ingénieur chez Hewlett-Packard travaillant sur des calculatrices électroniques, était venu avec l'intention d'acheter des Motorola 6800 à prix réduit (avantage employé HP). Il vit la publicité MOS, calcula le rapport performance/prix, se rendit à l'hôtel et acheta quelques puces. L'Apple I, présenté en avril 1976, utilisait un 6502. L'Apple II, commercialisé en 1977, décolla immédiatement.

Pendant ce temps, MOS Technology luttait pour survivre. La crise des calculatrices de poche ravageait l'industrie. Texas Instruments, fabricant de composants passé à l'intégration verticale, inonda le marché de calculatrices bon marché utilisant ses propres puces. Les marges s'effondraient. Bowmar, pionnier des calculatrices portables, déposa le bilan. New Scientist écrivit en novembre 1975 : « Even Commodore is struggling to survive ».

Commodore, fabricant canadien de calculatrices, dépendait de MOS Technology pour ses circuits intégrés. Acheter son fournisseur réglait deux problèmes : sécuriser l'approvisionnement face à la montée de TI, et acquérir le 6502. En septembre 1976, Commodore racheta MOS Technology pour 12 millions de dollars en échange de 9,4% du capital. Jack Tramiel, fondateur de Commodore, écouta Chuck Peddle et lança le Commodore PET en 1977, puis le VIC-20 en 1981 et le Commodore 64 en 1982. Le C64 domina le marché des ordinateurs personnels au milieu des années 1980.

Quelques détails techniques

Le 6502 était un processeur 8 bits avec 56 instructions, trois registres généraux (accumulateur A, indices X et Y), un pointeur de pile S et un compteur programme de 16 bits. Sa particularité architecturale : la « page zéro », les 256 premiers octets de mémoire adressables directement sur 8 bits au lieu de 16. Cela réduisait la taille du code et accélérât les accès fréquents.

Le processeur intégrait un générateur d'horloge à deux phases (ϕ_1 et ϕ_2), éliminant le besoin d'horloge externe — contrairement au 6800. Fréquence initiale : 1 MHz, extensible à 2 MHz (6502A) puis 3 MHz (6502B). Certaines versions NMOS initiales présentaient un bug sur l'instruction ROR (rotation à droite) en mode indexed indirect, corrigé dans les révisions ultérieures et les versions CMOS (65C02).

Les photomicrographies du *die* révèlent l'organisation interne : registres au centre, décodeur d'instructions sur le côté, ALU (unité arithmétique et logique) en haut. Les bonding pads, larges carrés en périphérie, connectaient le silicium aux broches du boîtier via des fils d'or soudés par ultrasons. Des structures de test et des marques de calibration permettaient de vérifier le processus de fabrication sur chaque wafer.

L'éléphant et le lièvre

Motorola possédait tous les atouts : ressources financières (1,437 milliards de dollars de revenus en 1973), infrastructure de vente établie depuis les années 1930, usines de fabrication, équipes de conception expérimentées. En 1974, l'entreprise s'autodécrivait comme le « Ponderous Pachyderm » (pachyderme pondéreux) dans une campagne publicitaire. Le message : lente mais implacable. Jack Haenichen confirma cette réputation en interview : « We maybe were not the 'latest and greatest' but when we started making something, we wiped everybody out ».

Métaphore d'entreprise high-tech discutable.

Motorola échoua avec le 6800 pour trois raisons. Primo, aversion au risque. La récession de 1974 poussa la direction à se concentrer sur la livraison du 6800 enhancement-load plutôt que d'explorer les depletion-loads. Tom Bennett, chef de conception du 6800, avoua que tester les depletion-loads semblait *a little risky* — alors que cette technique aurait réduit la taille du *die* et amélioré les rendements.

Secundo, politique interne. Obtenir des ressources chez Motorola dépendait moins du mérite technique que des relations avec les managers. Bill Lattin, membre de l'équipe 6800, témoigna en 2008 au Computer History Museum : « What could have happened here with 6800 had there been strategic direction from the whole company? It was a phenomenal success. I'm privileged to have worked with really bright guys pulling it off, and against chaos that was put in everybody's way ».

Bill Mensch vécut cette friction personnellement. Deux promesses de récompense pour des conceptions fonctionnant du premier coup — un bonus, puis un dîner coûteux à Scottsdale — ne furent jamais honorées. Harry Bawcom termina le layout du 6800 juste avant la visite du PDG Bob Galvin pendant les vacances de Noël 1973, travaillant tard chaque soir. Quand il arriva au bureau le lendemain, Galvin était parti et personne ne mentionna son effort.

Tertio, conflit d'intérêts. Chaque microprocesseur vendu par Motorola réduisait potentiellement les ventes de puces logiques TTL que d'autres divisions produisaient. Pire, les clients construisant des mini-ordinateurs avec des puces TTL Motorola se voyaient concurrencés par le 6800. Bob Galvin posa la question directement à l'équipe : « You understand that you're putting our customer's chip — or system — on one of these little boards? What's that gonna do to my other products? »

MOS Technology n'avait aucun de ces problèmes. Petite équipe (huit ingénieurs de Motorola rejoints par quelques designers MOS), objectif unique, aucune division interne à ménager. De août 1974 (arrivée de Peddle et son équipe) à septembre 1975 (livraison des premiers 6502), treize mois s'écoulèrent. Motorola mit plus de temps entre l'annonce du 6800 (mars 1974) et sa production (novembre 1974).

Le succès du 6502 tient à cette combinaison : bonne décision technique (depletion-load NMOS), règles de conception robustes (marges de Mensch), équipement de lithographie avancé (Perkin-Elmer Micralign), et surtout absence de bureaucratie. Une entreprise agile bat une organisation établie quand elle concentre son énergie sur un objectif clair.

Motorola se reprit ensuite. Le 68000, lancé en 1979, équipa les Macintosh d'Apple et domina le marché des processeurs 16/32 bits dans les années 1980. Mais en 1975, c'est une petite société de Pennsylvanie qui imposa le standard des microprocesseurs 8 bits.

Références

- [1] Article technique sur le 6502. In : *BYTE Magazine* (nov. 1975). Numéro de novembre 1975.
- [2] Harry BAWCOM. Interview par Brian Stuart pour Vintage Computer Festival. Interview 2020 et communications personnelles mai 2022. 2020.
- [3] Albert CHARPENTIER. Discussion sur la puce VIC avec Bil Herd. YouTube. Communications personnelles juin 2022 et vidéo YouTube publiée le 4 mars 2022. Mars 2022.
- [4] David LAWS. Oral History Panel on the Development and Promotion of the Motorola 6800 Microprocessor. Computer History Museum. Panel d'histoire orale. Mars 2008.
- [5] Wil MATHYS. [A Little History Lesson](#). team6502.org. Et communications personnelles juin 2022. Juin 2022.
- [6] Bill MENSCH. Interviews personnelles. Entretiens réalisés entre février et juin 2022. 2022.
- [7] William David MENSCH. [Oral History of William David "Bill" Mensch, Jr.](#) Computer History Museum. Interviewer : Stephen Diamond. Transcription d'interview orale. Nov. 2014.
- [8] Charles Ingerham PEDDLE. [Oral History of Charles Ingerham "Chuck" Peddle](#). Computer History Museum. Transcription d'interview orale. 2014.
- [9] Jason SACHS. [Development of the MOS Technology 6502: A Historical Perspective](#). In : *Embedded Related* (2022). Article de 60 pages couvrant en détail la conception, la fabrication et le contexte historique du 6502, avec sources primaires documentées et interviews des concepteurs originaux.