

# Tour d'honneur po

## 30 ans après, il inspire encore des milliers de

Roelf Sluman

**Les microprocesseurs à huit bits appartiennent-ils au passé ou peuvent-ils encore servir à quelque chose ? Elektor a fouiné et trouvé que le bon vieux 6502 attirait encore, à l'ère des processeurs à double cœur et du logiciel arborescent, une multitude de fans.**

Dans les années 70 et 80, trois microprocesseurs dictaient leur loi au marché : le 6809 de Motorola, le Z80 de Zilog et le 6502 de MOS. Mais le plus populaire d'entre eux, et de loin, c'était le 6502. Lors de son introduction, il coûtait à peine 25 dollars et son design avancé pour l'époque a fait de lui un conquérant, puisqu'il était le cerveau d'ordinateurs individuels aussi populaires que le Commodore 64 et l'Apple II.

Quelque trente ans plus tard, le marché est dominé par des processeurs qui tournent des milliers de fois plus vite que le 6502 et pourtant... il reste quantité d'applications pour cet élégant huit-bits. Des dizaines de milliers d'enthousiastes, dans le monde entier, travaillent encore quotidiennement avec le

6502 et réalisent avec lui des choses que l'on aurait tenues pour impossibles en 1975.

### La guerre des prix

**Lors de son introduction en 1975, le 6502 coûtait environ 25 dollars. Il constituait donc un redoutable concurrent pour le processeur dont il était issu, le 6800 qui, lui, affichait un prix s'élevant à 179 dollars. Rien d'étonnant à ce que des fabricants tels que Apple ou Commodore aient préféré le 6502. Steve Wozniak de chez Apple avait une prédilection pour le 6800, mais c'est l'énorme différence de prix qui força la décision.**

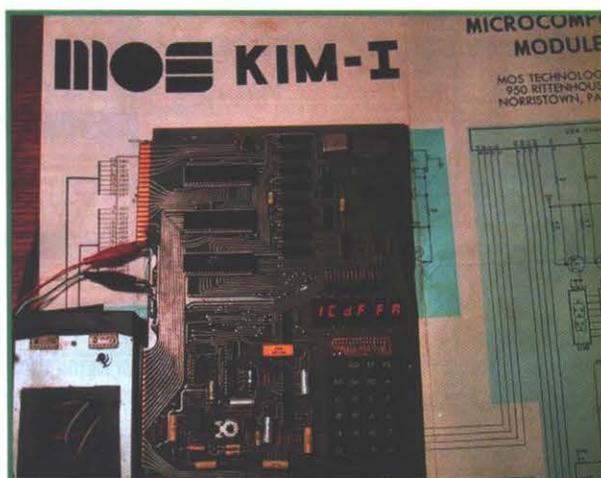
### Un peu d'histoire

Alors que le 6502 fête cette année son trentième anniversaire, on se souviendra qu'à l'époque, il avait fait scandale. Ses concepteurs avaient rêvé à un autre processeur : le 6501. Mais voilà, il ressemblait comme deux gouttes d'eau au 6800 du concurrent Motorola.

Rien d'étonnant, il avait été imaginé par les mêmes ingénieurs ! Immédiatement après l'introduction du 6800, un conflit opposa Motorola aux concepteurs du 6800, lequel entraîna la démission simultanée de presque tous les membres de ce groupe. Après quoi, ils furent immédiatement engagés par MOS Technology, le plus grand concurrent de Motorola dans les années 70. MOS s'était rendu compte du potentiel du 6800 et demanda à ses concepteurs de réaliser un processeur compatible broche à broche avec le 6800. Ce fut le 6501 qui était un peu moins cher que le 6800, puisqu'il n'avait occasionné que peu de coûts liés au développement.

Motorola ne s'en tint pas là et porta l'affaire devant les tribunaux. La réaction de MOS, ce fut le 6502, tout à fait identique au 6501, mais au brochage différent. Il ne pouvait donc pas s'implanter sur les platines prévues pour le 6800, précisément ce que Motorola voulait obtenir en justice.

Comme il n'y avait pas de carte susceptible de recevoir le 6502, il fallait que MOS développe quelque chose pour attirer l'attention des fournisseurs de logiciel. On vit donc apparaître le KIM-1 (cf. **figure 1**), un ordinateur à



**Figure 1.** L'ordinateur KIM-1 développé par MOS Technology. La saisie s'opérait sur un clavier hexadécimal, sortie sur un afficheur à LED de six chiffres.

# pour le side concepteurs



une seule platine avec 1 Ko de mémoire RAM. Très vite, les fabricants sentirent les énormes possibilités offertes par le 6502. En Amérique, il opéra une percée fulgurante avec les Atari 400 et 800, tandis qu'en Europe, Commodore volait de succès en records de vente avec le VIC-20, bientôt avec le Commodore 64 qui recelait une version améliorée du 6502, le 6510. Le Commodore 64 s'est vendu à plus de 25 millions d'exemplaires, le nombre total de processeurs 6502 vendus dans le monde est estimé à 100 millions ! Elektor a aussi publié de nombreux projets de construction basés sur le 6502. Le Junior Computer, dès 1980, a été un système d'étude particulièrement prisé. À partir de 1983, une série de cartes ont permis à nos lecteurs de se fabriquer un ordinateur complet centré sur le 6502. Finalement, le résultat s'est mué, en 1985, en un système du nom d'Octopus 65.

## Un peu de technique

Le 6502 est un processeur à huit bits alimenté sous 5 V et doté d'un domaine d'adresses à 16 bits, ce qui permet d'atteindre, de 0x0000 jusqu'à 0xFFFF, au maximum 64 Ko de mémoire. Il intègre 4 300 transistors. Sa fréquence d'horloge est de 1 MHz, mais comme le 6502 ne doit pas s'occuper d'instructions en microcode pour chaque code d'opération du processeur, il va aussi vite, en pratique, que le Z80 à 4 MHz qui, lui, doit traiter le microcode.

Le jeu d'instruction n'en compte pas plus de 56 et comme à l'époque la mémoire RAM était plus rapide que l'horloge du processeur, les concepteurs avaient épargné en registres internes. Le 6502 n'en a que trois, chacun de huit bits : l'accumulateur (le seul capable de réaliser des opérations arithmétiques) et les registres d'index X et Y. Le nombre relativement élevé de modes d'adressage du 6502 permet de gérer de manière efficace 64 Ko de mémoire avec des instructions à deux octets (un code d'opération et un opérande). C'est ainsi qu'il suffit de 19 octets de code pour remplir 64 Ko de mémoire. Si vous ne voyez pas comment procéder, envoyez donc un courriel à l'auteur : rsluman@gmail.com pour le découvrir. Il existe un certain nombre de variantes du 6502, avec plus ou moins d'options. Les plus célèbres sont le 6507, celui utilisé dans l'ordinateur de jeu Atari VCS 2600, et le 6510 dans le Commodore 64. Celui-ci a été le tout premier ordinateur individuel de 64 Ko de mémoire à offrir l'astuce de pouvoir la commuter à son gré d'une banque à l'autre (sous la mémoire dans laquelle s'opérait

la gestion des ports d'E/S se trouvait par exemple une partition de mémoire RAM que l'on pouvait rendre accessible pour y loger provisoirement des données puis la recacher pour récupérer l'accès aux ports d'E/S).

## Travailler avec le 6502

La meilleure façon de faire connaissance avec le 6502, c'est de le (re)mettre à l'ouvrage.

### Par simulateur

Le plus simple, c'est d'utiliser un simulateur, un logiciel qui imite le comportement du 6502. Un exemple de très bon programme dans ce domaine, c'est le *6502 Simulator* disponible gratuitement au téléchargement entre autres sur [http://home.pacbell.net/michal\\_k/6502.html](http://home.pacbell.net/michal_k/6502.html) (figure 2).

### Par émulateur

Un émulateur est un logiciel pour ordinateur qui crée une machine virtuelle, un processeur dans l'ordinateur. Comme il s'agit d'une réplique logicielle du processeur authentique, tout programme écrit pour ce processeur fonctionnera également sur l'émulateur. Même les défauts éventuels du matériel d'origine sont reproduits sur l'émulateur ! Pratiquement tous les processeurs des années 70 et 80 ont été émulés. Dans bien des cas, les concepteurs du

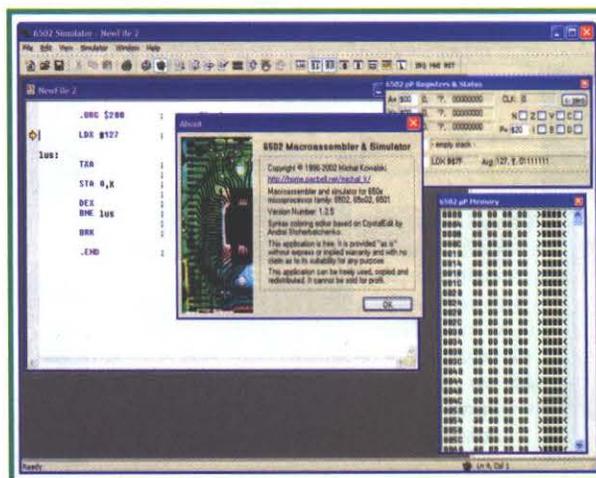


Figure 2.  
L'idéal pour ceux qui veulent travailler avec le 6502 : le macro-assembleur et le simulateur de Michal Kowalski.

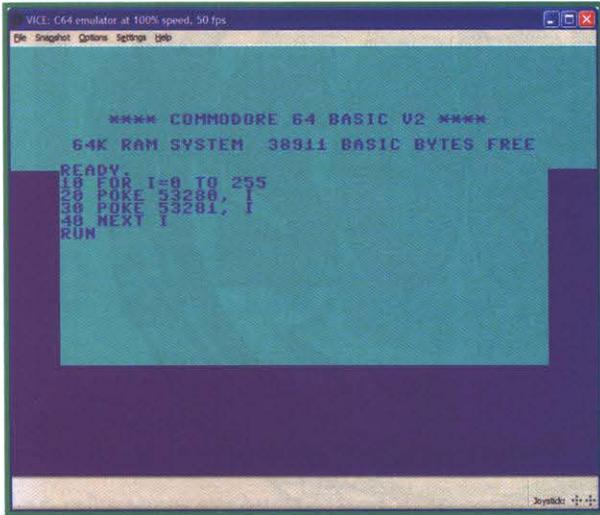


Figure 3. Une vieille connaissance, l'écran du Commodore 64, se retrouve comme émulateur sur un PC moderne.

logiciel de ces ordinateurs populaires ont libéré les droits aux profit des utilisateurs de ces émulateurs. S'il vous prend encore de temps en temps la nostalgie des heures passées devant votre Apple, Atari ou Commodore, vous pourrez ainsi les faire revivre !

L'un des programmes d'émulation les plus connus est VICE (un sigle tiré – légèrement par les cheveux – de Versatile Commodore Emulateur). On le trouve sur [www.viceteam.org](http://www.viceteam.org). Il est destiné à émuler tous les ordinateurs individuels connus de Commodore, et parmi ceux-ci le 64. L'émulation par VICE est à ce point parfaite que pratiquement tout logiciel jamais écrit pour le Commodore 64 tourne sans difficulté sous VICE.

Dès le lancement de VICE apparaît l'écran bleu (figure 3) bien connu et vous avez sous les doigts un vrai Commodore 64. Même le clavier se réarrange différemment pour correspondre à celui du Commodore 64.

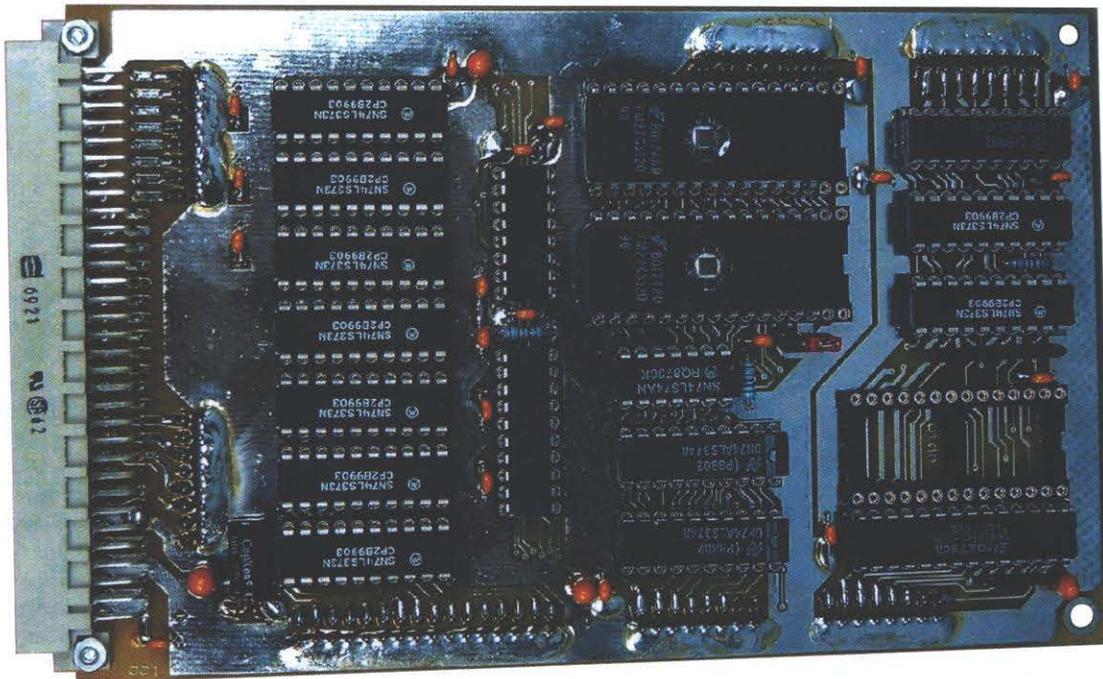


Figure 4. Une des deux platines qui composent le 6502 à composants discrets de Dieter Müller. (source : le site web Dieter's Hobby Projects)



Figure 5. Sur FPGA Arcade, on trouve différents façons d'imiter le 6502 en FPGA pour le plaisir du jeu.

Le lecteur de disquettes et le deck à cassettes avec éventuellement le chargeur turbo sont émulés à 100 %.

### Par contrefaçon

Vous pouvez aussi « imiter » un 6502 à l'aide de composants discrets comme des puces 7400, RAM et EPROM. C'est ce que Dieter Müller a fait avec d'anciennes pièces qu'il avait chez lui. Il a pratiquement réussi en mettant en jeu 40 puces réparties sur deux platines (figure 4). La concession principale porte sur la fréquence de l'horloge, mais son processeur discret reconnaît toutes les instructions du 6502 (cf. <http://freenet.de/dieter.02/m02.htm>).

Une autre solution consiste à démarrer partir d'un FPGA et lui faire apprendre toutes les fonctions du 6502. Dans ce genre de FPGA, on trouve toujours quantité de blocs logiques programmables et dans un exemple

moderne, on peut aisément introduire la circuiterie complète d'un 6502, et même en loger plusieurs dans la même puce ! Il existe une organisation qui s'occupe de développer en FPGA différentes unités centrales. Elle s'appelle Opencores (<http://opencores.nytech.net>). Le code du 6502, après recherche, se trouve sous le nom de T65. Il est également disponible sur <http://www.fpgaarcade.com/> où l'on trouve aussi plusieurs variantes de jeux pour le 6502 (figure 5).

## Applications

Comme le 6502 est un processeur très doué et bon marché et qu'il se combine aisément à d'autres matériels, il reste un composant favori pour de nombreux projets personnels. On trouve sur Internet de nombreuses réalisations qui utilisent le 6502. La plupart concernent un ordinateur construit à partir d'un 6502, mais on y découvre aussi des applications qui manifestent une bonne dose d'inspiration.

### Le 6502 visite le casino

Vous pouvez gagner beaucoup d'argent avec le 6502, c'est ce que deux étudiants californiens, sous le pseudo de Eudaemons, ont démontré. Ils ont fabriqué deux circuits basés sur le 6502 pour les installer dans une de leurs chaussures. Ils se sont alors présentés au casino et ont choisi une table de roulette. Le premier promenait son soulier sous le trajet du plateau tournant de la machine, après quoi le processeur 6502, muni d'un ingénieux algorithme, calculait la fin de la trajectoire de la bille, dans quel trou elle allait tomber. L'information était alors immédiatement transmise à la chaussure de l'autre étu-

## 2 Ko de mémoire ? Plus qu'assez !

Le premier ordinateur équipé du 6502 fut le célèbre ordinateur de jeu Atari VCS 2600. Bien que le 6502 soit le processeur le meilleur marché, Atari a encore comprimé le prix en commandant une version spéciale du 6502, le 6507 qui ne pouvait adresser que 8 Ko au lieu de 64 Ko. Aucun souci à se faire, selon les concepteurs de l'Atari 2600. En fin de compte, la mémoire était tellement chère que les jeux sur cet ordinateur n'ont jamais dépassé la taille de 2 Ko !

diant sous la forme de vibrations qui lui indiquaient alors dans quelle case miser.

### Procurez des yeux à votre robot

Mike Nabereznv a utilisé une combinaison de quatre capteurs d'infrarouge GP2D02 de Sharp pour doter d'yeux son robot. Le programme se contente d'interroger continuellement chacun des quatre capteurs (une haute valeur signifie « près » et une petite, « loin ») et à passer ces informations au robot.

Sur Internet (entrée via [www.6502.org](http://www.6502.org)) vous pourrez trouver nombre de projets semblables basés sur le 6502.

(050316-1)

## Où trouver encore un 6502 ?

Gunther Ewald

Difficile à croire, pourtant on produit encore aujourd'hui des microcontrôleurs avec le cœur du 6502.

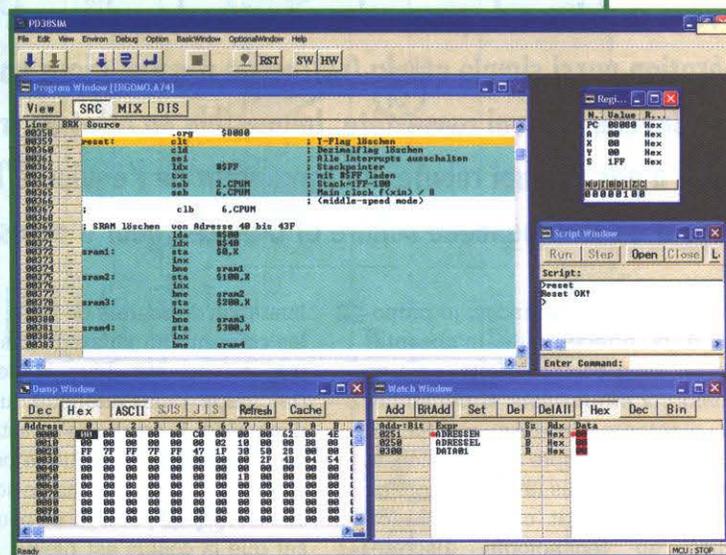
C'est ainsi que Micronas et Renesas fabriquent des microcontrôleur peu onéreux pour des tâches simples.

Vous verrez par exemple chez Micronas le WDC65C816 utilisé principalement sur automobile : [http://www.micronas.com/products/by\\_function/cdc\\_1607f-e/product\\_information/index.html](http://www.micronas.com/products/by_function/cdc_1607f-e/product_information/index.html)

Renesas utilise le cœur du 6502 dans toute la famille 740. Il est même compatible avec les codes d'instruction d'origine, et comporte encore quelques suppléments.

Malheureusement, leur nombre a diminué après la conversion aux produits sans plomb, mais on trouve encore chez ce fabricant 37 dérivés munis du processeur 6502 :

[www.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=740\\_family\\_4anding.jsp&fp=/products/mpumcu/740\\_family/](http://www.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=740_family_4anding.jsp&fp=/products/mpumcu/740_family/)



En définitive, ces produits ne conviennent pas à des applications d'amateur parce qu'il faut disposer d'un émulateur du microcontrôleur. Le fabricant fournit un simulateur gracieusement pour une durée d'utilisation de quatre mois. Il offre la simulation des E/S, des interruptions, la mesure du cycle d'exécution, un moniteur afficheur de RAM et une mesure de la couverture. Ce programme est disponible sur la page d'accueil de Renesas.