

---

## Réincarnation d'ordinateurs (résumé)

---

Hans Pufal\*

*ACONIT et CNAM*  
*hansp@citem.org*

Alors que les efforts consacrés au développement du logiciel ont largement dépassé l'investissement intellectuel portant sur l'aspect matériel, ceci depuis au moins la seconde génération d'ordinateurs, la majorité des collections sur l'histoire de l'informatique s'est focalisée sur le matériel. Et lorsque le logiciel est évoqué, ce n'est qu'en second rôle.

Ceci est dommage car l'intérêt intellectuel d'un ordinateur n'est pas son aspect physique mais son architecture et le logiciel écrit pour l'utiliser. Il est bien évident que le logiciel peut fournir une vue plus claire de l'impact des machines sur la société que leur seule composante matérielle.

Faire fonctionner, un logiciel récupéré se réalise généralement par l'une des deux méthodes suivantes :

- soit au moyen d'une machine d'origine conservée et entretenue dans ce but, ce qui est évidemment la manière la plus authentique mais aussi la plus limitée en termes de disponibilité, de facilités d'utilisation et de coût ;
- soit par l'émulation du système concerné sur un ordinateur moderne.

Tout ordinateur moderne, en dépit des charges entraînées par une émulation, peut facilement remplir le rôle de tout ordinateur d'intérêt historique. L'émulation permet également l'implémentation d'outils d'exécution pas à pas et de mesure des performances qui ne sont pas pour la plupart disponibles autrement. Les logiciels d'émulation peuvent être aisément diffusés et offrent l'accès le plus commode à un système donné. Ils demandent néanmoins une infrastructure complexe de programmes et de systèmes d'exploitation qui peuvent devenir obsolètes et inutilisables.

Une troisième voie existe :

- la construction d'une machine fonctionnellement équivalente au moyen d'une technologie moderne.

---

\*Traduction française de M. Jacob (Aconit) que nous tenons à remercier sincèrement ici.  
[N.D.E.]

---

Ce choix s'est toujours présenté et a en fait été souvent utilisé dans l'industrie pour développer des produits nouveaux et plus performants. Ce n'est pourtant que récemment que les coûts en matériel et en effort intellectuel pour reconstruire un ancien ordinateur sont devenus assez bas pour être tout à fait réalisable par une seule personne.

La clef d'un tel projet est le système FPGA (*Field Programmable Gate Array*), c'est-à-dire les circuits intégrés programmables. Il s'agit de circuits intégrant un nombre important (de dizaines à des centaines de milliers) de portes logiques. Les liaisons entre les portes ne sont pas prédéfinies comme dans la plupart des circuits intégrés, mais établies en chargeant une série de données dans la puce. La fonctionnalité de la puce est ainsi entièrement définie par la suite de bits qu'on lui a fournie. La génération « économique » actuelle de FPGA contient entre cent et trois cent mille portes, permettant facilement l'implémentation de la fonctionnalité complète d'une unité centrale d'il y a vingt ou trente ans.

La généralisation de l'utilisation des FPGA a entraîné la réalisation de nombreux matériels de développement, certains disponibles pour un coût très raisonnable, à partir de 100 euros. Ceux-ci, couplés avec les outils disponibles gratuitement permettant de générer les flux de bits au moyen de langages de haut niveau de description de circuits

(VHDL ou Verilog), offrent les éléments nécessaires à la réalisation d'un projet de reconstruction.

Toute reconstruction nécessite une description complète et détaillée de la machine d'origine. Il y a deux façons principales de procéder. Si on dispose des diagrammes logiques originaux, on peut les transformer en une description utilisable pour configurer un FPGA, reproduisant alors une implémentation fidèle mais cachant l'architecture générale derrière la masse des détails des circuits. Pour les implémentations que nous avons déjà essayées, nous avons suivi l'autre façon en nous plaçant au niveau des registres de l'unité centrale, implémentant chacune de ses fonctions sans reproduire les circuits originaux. On a ainsi une description de l'architecture fonctionnelle utilisable pour étude ou modification mais qui généralement ne reproduit pas les cycles opératoires de la machine.

L'implémentation de l'unité centrale seulement n'est pas suffisante pour représenter un système complet. Il faut également ses dispositifs de contrôle et lui associer des entrées-sorties. Sur la machine d'origine le contrôle est obtenu au moyen d'un tableau comportant des interrupteurs et des voyants lumineux permettant à un personnel entraîné, opérateur ou ingénieur, de contrôler, visualiser et vérifier le détail des opérations de la machine. La construction d'un tel tableau est coûteux tant en effort qu'à cause du prix des éléments et son résultat ne serait utile que pour une machine particulière. Il fallait trouver une meilleure solution, plus souple.

---

Un signal vidéo généré par le système FPGA permet d'afficher sur un moniteur VGA l'état interne de l'unité centrale. Pour les entrées-sorties, on met à contribution le clavier de PC habituel, non dans son rôle normal de frappe de données, bien qu'il puisse être utilisé aussi pour cela, mais en allouant à chaque touche une fonction de contrôle particulière exécutée par le FPGA à la réception du code de la touche. Ce système est très souple, le moniteur VGA peut être configuré pour imiter fidèlement un tableau de contrôle ou pour montrer de façon synthétique l'état complet de l'unité centrale. De façon similaire, les touches du clavier peuvent représenter les interrupteurs de la machine originale ou réaliser toute autre fonction souhaitée.

Nos projets actuels n'ont pas développé la réimplémentation des entrées-sorties. Il est souvent plus difficile d'imiter les entrées-sorties que l'unité centrale à cause des contraintes très strictes des réglages de synchronisme imposées par les systèmes mécaniques. Nous étudions deux options. La première essaierait de connecter directement les appareils originaux à l'unité centrale réimplémentée ; ceci nécessite des circuits d'interface spécialisés et une profonde compréhension des matériels d'origine. La seconde option consiste à relier l'unité centrale avec des matériels modernes mais de façon telle que l'interface soit la même que celle du système d'origine pour permettre l'exécution des logiciels originaux.

Cette technologie a plusieurs applications intéressantes en dehors des seuls intérêts de la recherche historique et de faire fonctionner d'anciens logiciels.

- En effet, l'étude des architectures des anciennes machines peut améliorer la compréhension des modernes ; au cours du développement des ordinateurs, il semble que chaque génération réinvente péniblement les idées des générations précédentes. Il serait intéressant de réfléchir à toutes les bonnes idées qui peuvent ainsi avoir été oubliées. La réimplémentation sur un système FPGA fournit une description détaillée et complète de l'architecture d'une machine ; son étude peut conduire un étudiant motivé à faire des expériences en lui donnant la possibilité de la modifier.
- Une deuxième application est la réanimation de vieux matériels, ou même la création de répliques de systèmes complets pour des expositions : montrer un ordinateur opérationnel présente un intérêt bien plus grand qu'un appareil inerte.
- Enfin, une troisième application, plus commerciale, est la vente de reproductions de tableaux de contrôle d'ordinateurs ; l'intérêt pour les vieux ordinateurs ne fait qu'augmenter et l'offre limitée fait monter les prix. Un marché pour la réimplémentation d'ordinateurs anciens est en train d'apparaître.