Cinquième partie

Évolution

Chapitre 25

Évolution des microprocesseurs

Pour aborder l'étude d'une entité, que ce soit celle de microprocesseur ou d'autres, nous avons toujours intérêt à considérer en premier le plus simple possible en se plaçant dans une vision dynamique pour voir ensuite les améliorations puis le dernier modèle disponible (ce qui ne dure qu'un temps très restreint) au moment de la conception de ce que l'on veut.

De façon à pouvoir manipuler le microprocesseur que nous avons pris en exemple (par émulation ou mieux en y faisant réellement référence), nous avons choisi le plus ancien des microprocesseurs encore facilement disponible.

Ce microprocesseur peut déjà apparaître d'une grande complexité. Nous allons donc dire quelques mots sur les microprocesseurs antérieurs, du point de vue de la programmation.

25.1 Le tout premier microprocesseur : le 4004

Apparition.- Le tout premier microprocesseur de l'histoire apparut en 1971. Il s'agit du 4004 d'*Intel*. Il était destiné à améliorer la conception des calculettes et non des ordinateurs.

Le bus était de 4 bits (au lieu des 8 du 8080 ou du Z80), cadencé à 740 KHz.

Mémoires.- Il pouvait accéder à trois types de mémoires : une pour les programmes, une pour les données et une pour la pile.

- La mémoire pour le programme pouvait aller jusqu'à 4 KiO (placée en ROM). Les instructions conditionnelles ne pouvaient travailler que dans la banque de ROM actuellement en cours (de 256 octets). Les sauts inconditionnels et les sauts aux sous-routines pouvaient par contre choisir une adresse quelconque de la mémoire du programme.
- La mémoire pour les données (en RAM) était limitée à 640 octets. L'accès se faisait de la même façon que les entrées-sorties. Tout d'abord, une instruction `SRC` (pour l'anglais *SeaRCh*) est utilisée pour dire au microprocesseur à quel type de mémoire il faut accéder (ROM ou RAM) puis des instructions `WRM` (pour l'anglais *WRite Memory*) et `RDM` (pour l'anglais *ReaD Memory*) permettent de transférer des données de l'accumulateur à la mémoire ou de la mémoire dans l'accumulateur.
- La pile est interne au microprocesseur, constituée de trois registres de 12 bits chacun.

Interruptions.- Il n'y en a pas sur le premier microprocesseur.

Ports d'entrée-sortie.- Il y a 16 ports d'entrée de 4 bits chacun et 16 ports de sortie, également de 4 bits chacun.

Registres.- Il y a 21 registres de quatre types différents :

- Le compteur de programme (PC) est un registre de 12 bits.
- Il y a trois registres de pile, de 12 bits chacun, ce qui est suffisant pour avoir trois sous-routines emboîtées les unes dans les autres. Chaque appel à une sous-routine stocke l'adresse de retour dans un des registres de pile. Les contenus de l'accumulateur et des registres d'index ne sont pas sauvegardés.
- L'accumulateur est un registre de 4 bits. Il est principalement utilisé pour les opérations logiques et arithmétiques ainsi que pour la lecture et l'écriture en mémoire RAM et sur les ports d'entrée-sortie.
- Le microprocesseur possède enfin 16 **registres d'index** de 4 bits, qui peuvent travailler en paire comme 8 registres de 8 bits.

Ensemble d'instructions.- Le 4004 possède 46 instructions :

- des instructions de transfert de données ;
- des instructions arithmétiques : addition, soustraction, incrémentation et décrémentation ;
- des instructions logiques et de rotation ;
- des instructions de contrôle : saut conditionnel (limité à la ROM en cours), inconditionnel, appel de procédure et retour d'une procédure ;
- des instructions d'entrée-sortie ;
- quelques autres instructions : opérations sur le drapeau de débordement, ajustement décimal, etc.

La longueur d'une instruction est de un ou deux octets.

<u>Modes d'adressage</u>. On peut distinguer les adressages :
- de registre (de 4 bits) ou implicite ;
- direct en mémoire ;
- indirect par registre (uniquement pour accéder dans la ROM en cours) ;
- immédiat (données de 4 ou 8 bits).

25.2 Le 8008

<u>Présentation</u>.- Le premier microprocesseur 8 bits sortit cinq mois après le premier microprocesseur, en 1972. Il était cadencé à 500 KHz ou à 800 KHz, donc moins rapide (en instructions par seconde) que le microprocesseur 4 bits. Les apports par rapport au 4004 sont les suivants :
- un bus de 8 bits au lieu de 4 bits ;
- support de 16 KiO de mémoire (ROM et RAM) au lieu de moins de 5 KiO ;
- 7 niveaux de pile au lieu de 3 ;
- l'apparition des interruptions.

Par contre l'accès direct à la mémoire a disparu : il faut d'abord stocker un octet dans les registres H et L puis accéder à la mémoire de façon indirecte. Cet inconvénient disparaîtra avec le 8080.

<u>Mémoires</u>.- On peut toujours accéder à trois types de mémoires, mais le programme et les données occupent le même espace mémoire qui peut aller jusqu'à 16 KiO :
- Le programme peut être placé n'importe où dans cette mémoire partagée. Les sauts, inconditionnels ou conditionnels, et les appels aux sous-routines utilisent des adresses sur 14 bits (en fait sur 16 bits dont les deux de plus fort poids sont ignorés).
- On utilise des adresses sur 14 bits pour les données afin de pouvoir accéder à toute la mémoire.
- La pile est constituée de sept registres (au lieu de trois) de 14 bits chacun.

Les 64 premiers bits de la page mémoire 0 peuvent être réservés pour les vecteurs d'interruption (instructions RST).

<u>Interruptions</u>.- Le microprocesseur possède des interruptions, non masquables. Lorsqu'une interruption apparaît, le microprocesseur charge une instruction depuis le bus, en général une des instructions suivantes :
- une des 8 instructions RST (RST0 - RST7). Le microprocesseur sauvegarde alors le compteur de programme dans la pile et effectue un saut à l'emplacement mémoire $N * 8$ (où N est un nombre de 3 bits, de 0 à 7, fourni par l'instruction RST).
- une instruction CALL (de 3 octets). Le microprocesseur appelle alors la sous-routine dont l'adresse est spécifiée par le deuxième et le troisième octet de l'instruction.

<u>Ports d'entrée-sortie</u>.- Il y a 8 ports d'entrée et 24 ports de sortie.

<u>Registres</u>.- Il y a maintenant 16 registres, de cinq types différents :
- Le compteur de programme (PC) est un registre de 14 bits.
- L'accumulateur ou registre `A` est un registre de 8 bits utilisé pour les opérations arithmétiques, logiques, d'entrée-sortie, de chargement et de stockage.
- Il y a six **registres de données**, de 8 bits chacun :
  - Les quatre registres `B`, `C`, `D` et `E` sont utilisés pour des stockages temporaires.

  - Les registres `H` (comme *High*) et `L` (comme *Low*) peuvent être utilisés comme une paire de registres `HL` de 16 bits. Le registre `HL` contient en général un pointeur de données utilisé pour faire référence à une adresse mémoire. Dans ce cas, le registre `L` contient l'octet de poids faible et les 2 bits de poids fort du registre `H` sont ignorés.
- Il y a sept registres de pile, de 14 bits chacun, ce qui est suffisant pour avoir sept sous-routines emboîtées les unes dans les autres.
- Le **registre des indicateurs** contient quatre indicateurs d'un bit chacun : Signe, Zéro, Parité et Report (*Carry* en anglais).

Ensemble d'instructions.- Le 8008 possède 48 instructions :
- des instructions de transfert de données ;
- des instructions arithmétiques : addition, soustraction, incrémentation et décrémentation ;
- des instructions logiques : `and`, `or`, `xor`, comparaison et rotation ;
- des instructions de contrôle : saut conditionnel, inconditionnel, appel de procédure, retour d'une procédure et redémarrage ;
- des instructions d'entrée-sortie ;
- quelques autres instructions, dont `halt`.

La longueur d'une instruction est de un, deux ou trois octets.

Modes d'adressage. On peut distinguer les modes d'adressage :
- de registre ou implicite ;
- indirect par registre : l'instruction spécifie le registre `HL`, qui contient l'adresse de la donnée ;
- immédiat.

25.3 Le 8080

Présentation.- En 1974 sortit le successeur du 8008, appelé 8080. Pour faciliter la transition avec l'ancien microprocesseur, *Intel* décida que les programmes écrits en langage machine du 8008 devaient pouvoir être exécutés sur le nouveau microprocesseur : il s'agit du fameux principe de *compatibilité ascendante* adopté par *Intel* et toujours à l'ordre du jour, ce qui pose quelquefois des problèmes mais avec des avantages qui l'emportent apparemment dans le bilan global. Les améliorations sont les suivantes :
- supporte 64 KiO de mémoire ;
- la pile se trouve maintenant dans l'espace mémoire partagé et n'est donc plus limitée à sept niveaux ;
- le nombre de ports d'entrée-sortie est porté à 256 ;
- le jeu d'instructions est augmenté et on retrouve l'adressage direct.

Mémoire.- Désormais le programme, les données et la pile occupent le même espace mémoire qui peut aller jusqu'à 64 KiO :
- Le programme peut être placé n'importe où dans cette mémoire partagée. Les sauts, inconditionnels ou conditionnels, et les appels aux sous-routines utilisent des adresses sur 16 bits (et non plus 14 bits), puisque $2^{16} = 64$ Ki.
- On utilise des adresses sur 16 bits pour les données.
- La pile est située à la fin de la mémoire et progresse en arrière.

Interruptions.- Le microprocesseur a le même système d'interruptions que le 8008 sauf qu'elles sont maintenant masquables. Il y a donc les deux nouvelles instructions EI (pour *Enable Interrupt*) et DI (pour *Disable Interrupt*).

Ports d'entrée-sortie.- Il y a 256 ports d'entrée-sortie.

Registres.- Il y a maintenant 10 registres, de cinq types différents :

- Le compteur de programme (PC) est un registre de 16 bits.
- L'accumulateur ou registre `A` est un registre de 8 bits.
- Il y a six **registres généraux**, de 8 bits chacun, `B`, `C`, `D`, `E`, `H` et `L`, qui peuvent être utilisés en paire `BC`, `DE` et `HL` pour obtenir des registres de 16 bits.
- Le registre de pile de 16 bits est toujours incrémenté ou décrémenté de 2.
- Le **registre des indicateurs** est maintenant un registre de 8 bits dont cinq seulement sont utilisés : en plus des indicateurs de Signe, de Zéro, de Parité et de Report (*Carry* en anglais) du 8008, il y a maintenant l'indicateur Auxiliaire.

Jeu d'instructions.- Le 8080 possède, outre les instructions du 8008, quelques instructions nouvelles comme le positionnement et l'effacement des indicateurs, l'activation et la désactivation des interruptions et les opérations sur la pile.

Modes d'adressage. L'adressage direct est rétabli, pour des données de 8 ou de 16 bits.

25.4 Le 8085

Présentation.- En 1976 sort le successeur du 8080, appelé 8085, plus rapide que le précédent et avec un jeu d'instructions étendu bien que non documenté.

Interruptions.- Le microprocesseur possède maintenant cinq broches d'interruptions, au lieu d'une précédemment. Nous les présentons ci-dessous dans l'ordre de priorité, de la plus basse à la plus haute :

- L'interruption INTR correspond à l'interruption du 8080 avec laquelle elle est compatible.
- RST5.5 est une interruption masquable. Lorsque cette interruption apparaît, le microprocesseur sauvegarde le contenu du registre PC dans la pile et va à l'instruction d'adresse 2Ch.
- RST6.5 est une interruption masquable. Lorsque cette interruption apparaît, le microprocesseur sauvegarde le contenu du registre PC dans la pile et va à l'instruction d'adresse 34h.
- RST7.5 est une interruption masquable. Lorsque cette interruption apparaît, le microprocesseur sauvegarde le contenu du registre PC dans la pile et va à l'instruction d'adresse 3Ch.
- `Trap` est une interruption non masquable. Lorsque cette interruption apparaît, le microprocesseur sauvegarde le contenu du registre PC dans la pile et va à l'instruction d'adresse 24h.

Les instructions masquables peuvent être activées ou désactivées toutes ensembles en utilisant les instructions EI et DI. Les interruptions RST5.5, RST6.5 et RST7.5 peuvent être activées ou désactivées individuellement en utilisant l'instruction SIM.