

L'ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME INFORMATIQUE

1. Présentation

Nous allons parler de l'organisation du matériel d'un système informatique. Les matériels étant nombreux et différents nous resterons dans le domaine des généralités. Je suppose que vous connaissez la différence entre RAM et ROM sans entrer dans le détail des divers types.

Conseils de lecture

Je vous conseille de lire ce texte une première fois en entier, puis de reprendre la lecture avec un papier et un crayon pour traiter les questions.

2. Les fonctions d'un système informatisé

Tout système informatisé doit résoudre les problèmes suivants :

- L'exécution des programmes
- Communication avec l'utilisateur et avec l'extérieur
- Le stockage temporaire des informations
- La sauvegarde à long terme des fichiers.

2.1. L'exécution des programmes

Un programme est une suite d'instructions codées par des nombres. Ces derniers sont destinés au microprocesseur¹ qui est le composant capable de les comprendre. Selon les machines, le programme se trouve soit en RAM soit en ROM².

Nous allons distinguer le cas des systèmes à microprocesseur, tel le PC, des systèmes à microcontrôleur³ qui sont des machines dédiées à une tâche précise⁴.

2.1.1. Le système à microcontrôleur

Étant donné que la machine est dédiée à une tâche précise, le programme est figé en ROM. Le concepteur de la machine fait en sorte⁵, qu'à la mise sous tension, le microcontrôleur "connaisse" l'adresse de début du programme. La pompe est alors amorcée, les instructions s'enchaînent et le programme se déroule.

2.1.2. Le système à microprocesseur

Cette machine est le plus souvent destinée à exécuter toutes sortes de programmes. Ceux-ci sont en attente, sous forme de fichiers, sur le disque dur. La première étape est donc de mettre le programme à disposition du microprocesseur en le chargeant en RAM. C'est le travail du système d'exploitation. Ce dernier doit trouver une place au programme et communiquer l'adresse de début au microprocesseur. Le système d'exploitation joue un grand rôle ici.

2.2. La communication avec l'utilisateur et avec l'extérieur

Vous connaissez le rôle de l'écran et du clavier.

2.3. Le stockage temporaire des informations

C'est le rôle de la RAM. Dans le cas d'un micro-ordinateur, la RAM doit être importante car elle sert à la mise à disposition du programme et également au travail en général. Avec un système à microcontrôleur, la RAM ne sert qu'aux variables, elle peut être réduite.

2.4. Le disque dur

Les dispositifs similaires au disque dur sont désignés par le terme générique de mémoire secondaire⁶ ou mémoire de masse. Ils sont mis en œuvre par le système d'exploitation. Ils servent à conserver les fichiers (programmes, textes, données etc.). Il faut se souvenir que la

¹ Ou au microcontrôleur

² Les petits systèmes ont leur programme figé en ROM

³ voir les feuilles sur le microcontrôleur

⁴ Par exemple une machine à laver ou un système d'alarme.

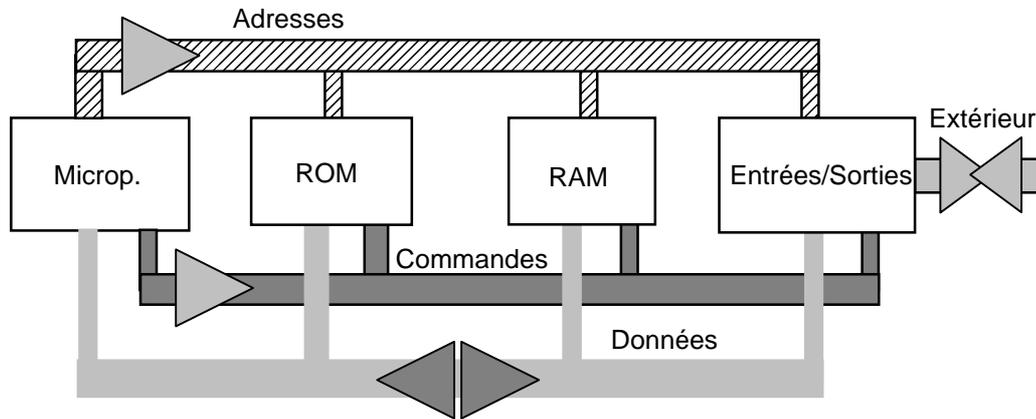
⁵ La procédure est un peu compliquée, il faut savoir qu'elle existe.

⁶ La RAM est appelée mémoire primaire.

RAM est volatile c'est à dire qu'elle "perd la mémoire" à chaque coupure de l'alimentation. Le disque dur pallie ce défaut.

3. L'organisation générale de tout système informatisé

Von Neumann, un mathématicien théoricien de l'informatique, a montré que la disposition présentée schématiquement ci-dessous permettait de réaliser une machine "viable". On parle de machine de Von Neumann (John von Neumann 1903 1957)



La représentation est simplifiée mais je pense qu'elle est suffisante pour mettre en évidence les problèmes majeurs à résoudre.

Le microprocesseur et ses circuits annexes communiquent par l'intermédiaire de trois bus. Deux sont principalement unidirectionnels et le troisième est bidirectionnel.

3.1. Qu'est-ce qu'un bus ?

C'est un ensemble de conducteurs qui porte des informations à tous les composants. Le terme vient du véhicule de même nom qui permet le transport de tout le monde en s'arrêtant à chaque station.

Nous allons voir que cette disposition facilite la conception électronique à condition de résoudre un problème spécifique.

3.2. Le bus des données (data bus)

Comme son nom l'indique, il véhicule les données c'est à dire les nombres constituant le programme mais aussi les nombres qui représentent des textes, des valeurs numériques etc.

Il est bidirectionnel car les données peuvent aller

- Des circuits vers le microprocesseur, on dit que c'est une opération de **lecture**⁷.
- Du microprocesseur vers les circuits, opération **d'écriture**.

Le nombre de fils du bus des données conditionne la taille des données.

Question :

- La taille élémentaire des données des premiers microprocesseurs était **l'octet**. Quel était le nombre de fils du bus des données ?

3.3. Le bus des adresses (adress bus)

Comme les données circulent sur un bus, elles peuvent être vues par tout le monde, or il ne peut y avoir qu'un seul destinataire ou qu'un seul expéditeur à un instant donné. Le microprocesseur doit avoir la possibilité de choisir son interlocuteur, on a créé les adresses. Chaque emplacement susceptible d'être un interlocuteur pour le microprocesseur possède une adresse bien à lui. Un bus regroupe tous les fils destinés à fournir les adresses. L'ensemble des adresses possibles porte le nom **d'espace adressable**. Nous allons voir plus loin, le principe de la sélection d'un emplacement mémoire.

⁷ Attention parce que la lecture de l'un est l'écriture de l'autre. Pour s'y retrouver, on se met à la place du microprocesseur. Lors d'une lecture c'est le microprocesseur qui lit.

3.4. Le bus des commandes (control bus)

Le bus des commandes peut être plus ou moins compliqué selon le type de microprocesseur. Il regroupe tous les ordres nécessaires à mettre en œuvre le microprocesseur. On retrouve dans tous les cas des fils qui portent les indications suivantes données par le microprocesseur :

- Je souhaite un transfert à partir de cet instant
- Je fais une lecture ou une écriture
- Les adresses sont valables dès maintenant

D'autres sont destinées au microprocesseur :

- Un circuit réclame que le microprocesseur lui consacre tout son temps car il y a quelque chose d'urgent à faire. (c'est la notion **d'interruption**)

Et d'autres choses encore.

4. L'information et l'emplacement mémoire

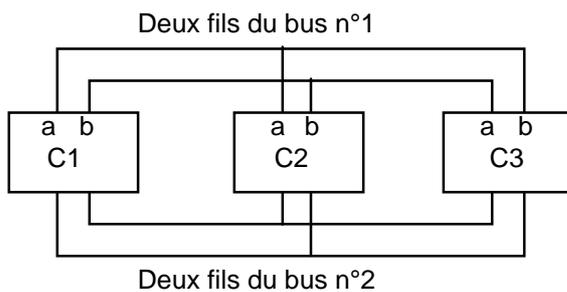
On peut considérer que tous les circuits associés au microprocesseur se comportent, du point de vue de l'échange d'informations, comme des mémoires.

Dans le langage courant, on utilise le mot **octet** aussi bien pour l'information que pour l'emplacement mémoire qui la contient. Il faut faire la distinction entre les deux notions.

5. Le problème spécifique à la disposition en bus

5.1. Avantages

Je vais faire apparaître les fils des bus du schéma précédent. Pour ne pas surcharger le dessin je ne représenterai que deux fils. Il faut donc se rappeler que chaque bus comprend plus de deux fils et que chaque fil transporte une information élémentaire : le **bit**⁸.



On peut constater que la connexion est extrêmement simple puisqu'il suffit de raccorder entre elles toutes les broches homologues de chaque circuit.

5.2. Inconvénients

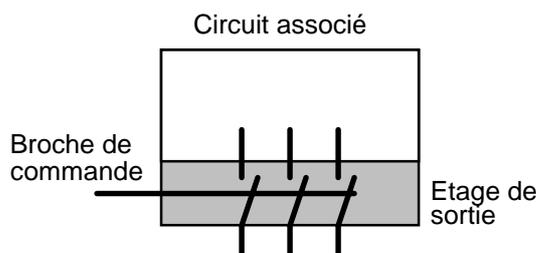
Supposons que les broches a et b de chaque circuit soient équivalentes à des sorties de portes logiques. Ces broches ne peuvent donc prendre que les deux états logiques 1 ou 0, c'est-à-dire la présence ou l'absence de tension. Si toutes les broches fournissent le même état logique à un instant donné, tout va bien, mais dans le cas contraire, catastrophe⁹ !

Question :

- Montrez, par un schéma simple de quelle catastrophe il s'agit.

5.3. Le remède

Le problème ne se pose que pour les broches susceptibles de fournir des informations au bus. C'est à dire principalement le bus des données. Le remède est une déconnexion virtuelle du composant.



Les circuits informatiques possèdent un étage supplémentaire par rapport aux circuits logiques "ordinaires". Cet étage est l'équivalent d'interrupteurs qui permettent la déconnexion virtuelle du composant. Une broche de commande donne l'ordre de fermeture ou d'ouverture des interrupteurs. On parle de **logique à trois états** (three state logic). Les trois états sont : le 1, le 0, la déconnexion¹⁰.

⁸ Ce terme est un acronyme pour **B**inary **d**igit c'est-à-dire nombre binaire.

⁹ Même si la catastrophe n'est pas destructrice, elle perturbe fortement le fonctionnement.

¹⁰ Également appelée "haute impédance" (HZ)

Question :

- Vérifiez, par un schéma, que ce dispositif supprime le problème spécifique aux bus.

6. Le décodage d'adresses

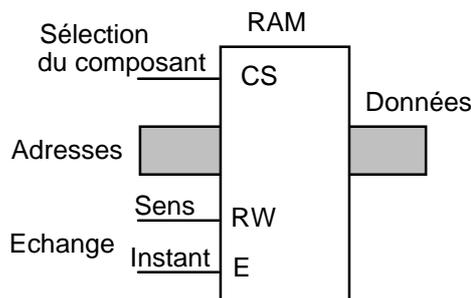
Sous ce nom, on regroupe toute l'électronique qui permet au microprocesseur de sélectionner son interlocuteur¹¹ avec précision.

On distingue deux étapes dans cette sélection

- La sélection du composant
- La sélection de l'emplacement dans le composant choisi

6.1. Les broches de communication d'une mémoire

Souvenons-nous qu'un circuit associé quelconque peut être assimilé, à quelques détails près à une mémoire. Voyons quelles sont les broches qui assurent la communication pour une mémoire¹².



La sélection du composant se fait en appliquant un niveau logique actif sur la broche CS¹³.

Pour choisir un emplacement mémoire interne, on applique des niveaux logiques sur les fils d'adresses.

Le sens et l'instant de l'échange sont indiqués par l'envoi de niveaux logiques adéquats sur les broches RW et E

Questions :

- Quel composant est à l'origine des niveaux logiques dont je parle dans ce texte ?
- En supposant que la mémoire possède 1024 emplacements, dites combien de fils possède le bus d'adresses de la RAM.
- Comment vous représentez-vous l'intérieur de la RAM¹⁴ ?

6.2. La logique négative

Nous avons l'habitude, en France, de considérer le niveau logique 1 comme étant le niveau actif. Pour les Anglo-saxons c'est l'inverse, le niveau actif est le 0 logique. On parle de **logique négative**. Il faut savoir que les signaux de commandes, comme CS, RW sont presque tous en logique négative. C'est la panique parmi les élèves. Le moment venu je vous indiquerai une méthode pour ne pas faire d'erreurs. Pour l'instant je parlerai uniquement de niveau actif ou inactif sans préciser s'il s'agit d'un 1 ou d'un 0.

6.3. La sélection du composant

Considérons un microprocesseur qui possède un bus d'adresses de 16 fils. Il est associé à trois "mémoires" M1, M2, M3 de 1024 emplacements chacune.

Questions :

- Pourquoi ai-je mis le mot mémoire entre guillemets ?
 - Dessinez un schéma représentant le problème.
 - Quelle est l'étendue de l'espace adressable ?
 - Cherchez le moyen le plus simple, de sélectionner chaque mémoire.
 - Ce moyen permet-il d'obtenir une mémoire de 3 kO contigus ?
 - Quelle est l'adresse du premier emplacement de chaque mémoire ?
 - Imaginez un schéma de sélection qui permette d'obtenir les 3 kO contigus.
 - Imaginez un autre schéma qui place M1 aux adresses les plus élevées possibles, M2 aux adresses les plus basses, et M3 qui commence à l'adresse équivalente au cinquième kO.
- Vous avez le choix des composants, je vous conseille de commencer par des portes ET, OU, NON.*

L'adresse du premier emplacement de chaque composant porte le nom **d'adresse de base**.

¹¹ c'est-à-dire l'emplacement mémoire.

¹² Comme toujours, je simplifie pour ne m'intéresser qu'à l'essentiel

¹³ j'utilise les noms consacrés par l'usage (à une nuance près)

¹⁴ Ce travail en fondamental. Essayez de le faire même si votre représentation vous semble farfelue.

6.4. Le choix de l'emplacement interne

Vous avez réglé, je l'espère, le problème de la sélection du composant. Il reste, au microprocesseur à pouvoir choisir un emplacement particulier à l'intérieur d'un composant.

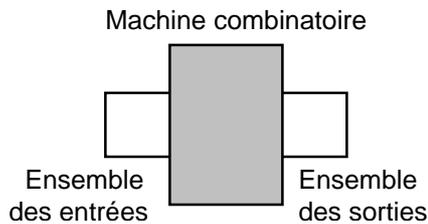
Questions :

- Essayez de résoudre le problème, vous avez toutes les cartes en main.
- Dessinez un schéma de principe du décodage d'adresses.
- À quelle adresse se trouve le troisième emplacement de M1 dans le dernier exercice du paragraphe précédent ?

7. Les composants du décodage d'adresses

7.1. Un problème de combinatoire

Le décodage d'adresses est un problème de logique combinatoire. La combinatoire est une branche de l'électronique logique qui traite des portes et des composants assimilables. Une "machine" combinatoire peut être décrite par une table de vérité.



La machine combinatoire répond "sans réfléchir". À chaque combinaison des entrées, elle fait correspondre une combinaison des sorties comme elle a appris à la faire lors de sa fabrication. La relation de correspondance est résumée dans une table de vérité.

Questions :

- Montrez que les portes ET, OU, NON sont des "machines" combinatoires.
- Donnez d'autres exemples célèbres de machines combinatoires.

7.2. Le problème typique de décodage d'adresses

L'arithmétique binaire nous enseigne qu'un nombre à n chiffres permet de créer 2^n nombres différents.

Appliquons ceci à l'électronique logique :

Un bus d'adresses de n fils permet de distinguer 2^n emplacements mémoires différents.

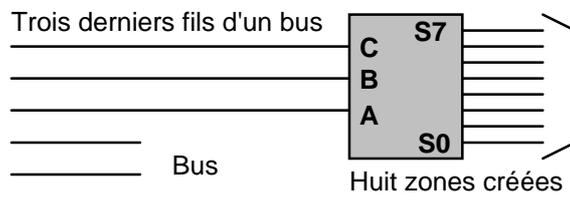
Un groupe de fils d'un bus de m fils permet de créer 2^m zones d'emplacements mémoires.

Questions :

- Vérifiez le théorème de l'arithmétique binaire avec $n = 4$
- Ce théorème peut-il être appliqué, en l'adaptant, à l'arithmétique décimale ?
- Vérifiez la deuxième application (*celle qui parle des 2^m zones*)
- Quelle est la taille de chaque zone ? (*faites un dessin et travaillez sur des exemples*)

7.3. Application au décodage d'adresses

Résumons ce qui vient d'être dit par un schéma.



Le composant grisé est une machine combinatoire. Ses entrées sont A, B, C, ses sorties sont S0 à S7. Le fonctionnement est décrit par la table de vérité ci-dessous

J'emploie I pour inactif et A pour actif.

Questions :

- poursuivre le remplissage du tableau
- pourquoi dit-on que ce composant découpe huit zones dans l'espace mémoire
- imaginez un montage qui permette de couper la zone S0 en deux parties égales. Pour résoudre cette question vous allez poser Actif = 1. Le problème peut se traiter par des portes ET, OU, NON.

C	B	A	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
I	I	I	A	I	I	I	I	I	I	I
I	I	A	I	A	I	I	I	I	I	I
I	A	I								

8. Le décodeur 74LS138

Le composant que je viens de décrire existe. Il est complété par trois broches de validation qui portent généralement les noms de G, G1, G2. La validation est réalisée par une certaine combinaison des niveaux logiques sur les trois broches. Lorsqu'elle est réalisée, le décodeur fonctionne comme décrit dans la table de vérité ; dans le cas contraire toutes les sorties sont dans l'état inactif.

La combinaison de validation¹⁵ est $G \cdot G1 \cdot G2 = 100$

Questions :

- Ajoutez les broches de validation à la table de vérité. (*utilisez le signe X pour niveau indifférent*)
- Imaginez un montage qui divise la zone S1 en huit parties (*posez seuls les hypothèses*)
- Étudiez la documentation du constructeur du composant

8.1. L'équation

Certains auteurs donnent une équation pour décrire le fonctionnement du 138, la voici :

$$Y_i = (G \cdot G1 / \cdot G2 / \cdot (C, B, A = i)) /$$

Cette équation est très concise, elle donne, en une seule expression, les équations des huit sorties. La barre oblique (/) est le signe de la complémentarité. L'indice i est mis pour l'une des valeurs de 0 à 7.

Questions :

- Interprétez cette équation pour retrouver le fonctionnement décrit dans la table.
- Le niveau actif des sorties est-il le 1 ou le 0 ?

9. Les coupleurs

Les coupleurs sont des circuits annexes qui permettent la liaison avec l'extérieur. Ces composants sont vus, par le microprocesseur, comme des mémoires, leur liaison avec le microprocesseur répond aux exigences vues plus haut. De l'extérieur, ils se comportent comme des sources de niveaux logiques TTL.

Leur but principal est de libérer le microprocesseur de certaines tâches spécialisées. Le microprocesseur est capable de les réaliser mais, en tant que généraliste, elles lui prendraient beaucoup de temps et cela bloquerait le fonctionnement global du système.

Les coupleurs sont des composants informatiques, ils sont configurables, c'est à dire que le microprocesseur peut adapter certaines de leurs caractéristiques par l'envoi d'ordres adéquats.

Il peut interroger le coupleur pour savoir si des données sont disponibles, l'échange est alors sur l'initiative de microprocesseur.

Mais les coupleurs sont capables de provoquer une **interruption** c'est à dire qu'ils peuvent réclamer un traitement en urgence de la part du microprocesseur.

9.1. Le principe de la configuration

La configuration est l'opération qui consiste à adapter le coupleur à l'usage particulier qu'on veut en faire. En général, la configuration est effectuée en début de programme mais on peut en réaliser une nouvelle à tout moment au cours du programme.

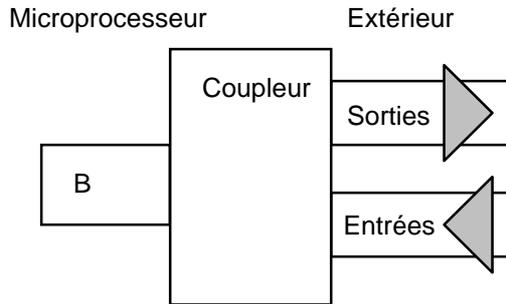
Le coupleur contient une petite zone mémoire de quelques octets, chaque octet porte ici le nom de registre. Chacun d'eux est repéré par une adresse et possède une fonction bien déterminée. Lorsque le microprocesseur interroge le coupleur, il vient lire un registre particulier.

Pour configurer un coupleur il faut déterminer les nombres qui correspondent aux fonctions souhaitées et, par des opérations d'écriture, les placer dans les bons registres.

¹⁵ Je l'écris sous forme condensée volontairement

9.2. Le coupleur parallèle

Le coupleur parallèle fournit, en entrée ou en sortie, un ensemble de niveaux logiques.



Les rectangles B, Entrées, Sorties sont des bus de huit fils. Certains de ces fils sont des entrées et d'autres des sorties.

Les sorties sont mémorisées c'est à dire que les niveaux logiques sont conservés tant qu'ils ne sont pas modifiés par un nouvel ordre d'écriture.

9.3. Le coupleur série

L'organisation générale de ce coupleur est analogue à celle du précédent. Cependant, la liaison vers l'extérieur se fait de façon série, c'est à dire que l'octet envoyé par le microprocesseur est décomposé en ses éléments, les bits¹⁶, qui sont envoyés les uns à la suite des autres, d'où le terme de série, vers l'extérieur. Le coupleur est bien sûr capable de recevoir des données sous forme série et de les mettre à disposition du microprocesseur sous la forme appropriée.

9.4. Les timers

Il est difficile de trouver un nom français pour ces coupleurs car ils peuvent remplir de nombreuses fonctions qui toutes font intervenir le temps.

Ils sont capables de **mesurer une durée** entre deux événements extérieurs. La configuration permet le déclenchement sur un front montant ou sur un front descendant.

À l'inverse, ils peuvent produire, vers l'extérieur, une **impulsion** dont la durée est déterminée par la configuration ou un **signal périodique** dont on peut régler la fréquence et le rapport cyclique.

Ils peuvent mettre un **chronomètre** à disposition du microprocesseur

Comme le composant comporte plusieurs timers, les constructeurs ont prévu la possibilité d'associer les timers entre eux pour produire des **signaux complexes**.

¹⁶ bit est la contraction de Binary digit c'est à dire chiffre binaire