

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION AUX SYSTEMES EMBARQUES

1.1 Introduction

Un système embarqué est défini comme un système électronique et informatique autonome, souvent **temps réel**, spécialisé dans une tâche bien précise. Le terme désigne aussi bien le matériel informatique que le logiciel utilisé. Ses ressources sont généralement limitées. Cette limitation est généralement d'ordre spatial (encombrement réduit) et énergétique (consommation restreinte).

Les éléments essentiels qui vont caractériser un système sont en particulier :

- son périmètre ;
- sa ou ses sources d'énergies ;
- les prestations qu'il doit assurer en qualité et quantité ;
- ses modes de défaillances et ses modes dégradés.

Le périmètre d'un système embarqué rassemble tous les constituants contribuant à effectuer les prestations attendues par ce système, sous la forme d'un schéma de principe qui est présenté en figure 1.1.

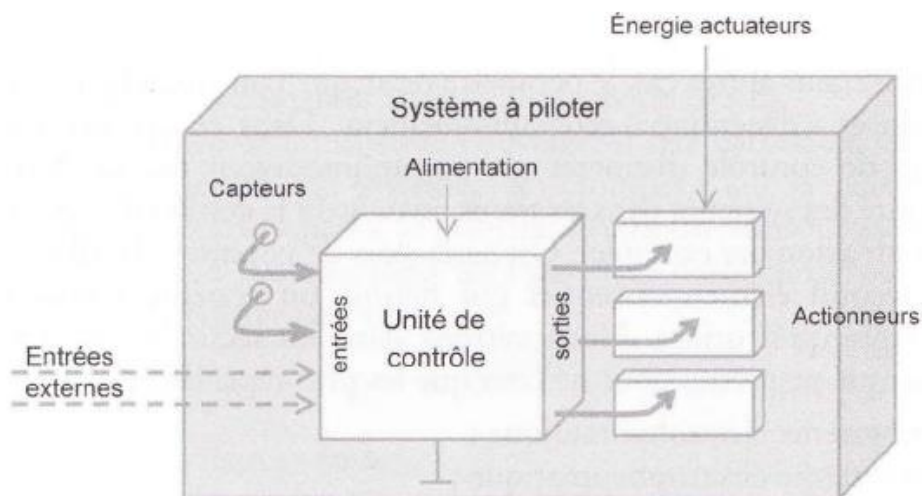


Figure 1.1 - Schéma de principe d'un système simple.

Le système peut être de différente nature (électropneumatique, électromécanique...). On voit sur le schéma que l'unité de contrôle est en interaction avec le système à piloter au moyen :

- 2 entrées/capteurs simples ;
- 3 sorties/actuateurs simples ;
- 4 capteurs intelligents le cas échéant ; (si nécessaire)
- 5 actuateurs intelligents le cas échéant. (si nécessaire)

L'unité de contrôle doit être correctement alimentée, et peut aussi utiliser des entrées externes. Le système considéré peut nécessiter des communications avec des systèmes voisins, soit par lignes de communication filaires (bus multiplexé) soit par voie hertzienne (wireless communication) (fig. 1.2).

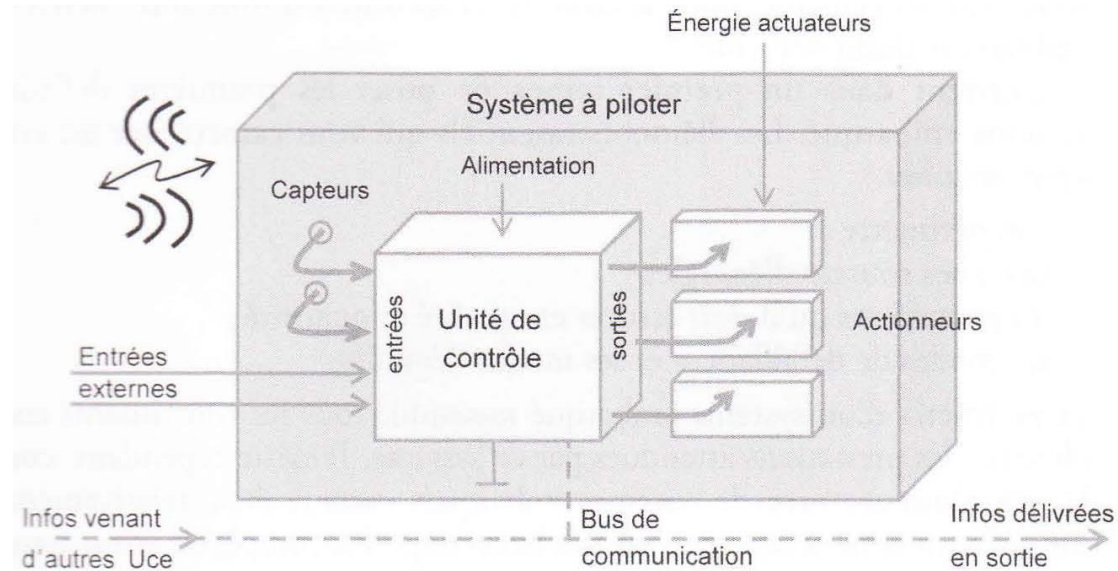


Figure 1.2 - Schéma de principe d'un système simple communicant.

Dans certains autres cas, le périmètre de ce que l'on entend par « système » peut être étendu et géographiquement. Dans ce cas, on peut avoir plusieurs unités de contrôle distinctes qui communiqueront par un bus (typiquement la majorité des systèmes dans les trains, mais aussi la gestion des réservoirs de carburant dans un avion par exemple). On parle alors de système « distribué » (figure 1.3).

Un second élément essentiel qui définit un système embarqué est la source d'énergie qu'il utilise. Nous verrons dans les sections suivantes qu'un système embarqué peut être, pour ne citer que les plus répandus :

- un système électrohydraulique ; (Direction assistée) ;
- un système électropneumatique ;
- un système électrothermodynamique ;
- un système électrochimique ;
- un système électrotechnique/électromécanique ;
- - un système électropyrotechnique.

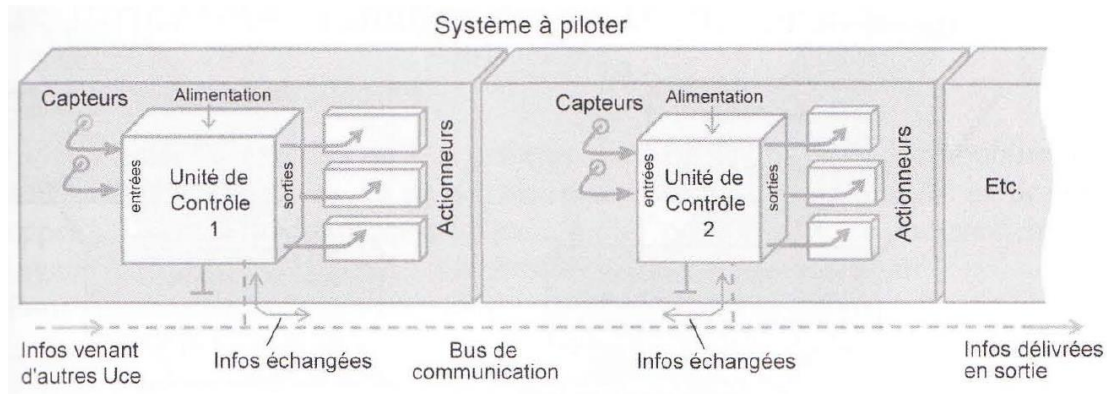


Figure 1.3 - Schéma de principe d'un système complexe « distribué ».

1.2 Les différentes familles de systèmes embarqués

1.2.1 Systèmes électrohydrauliques

Cette famille de systèmes est très présente dans les avions et les automobiles, elle fait appel à l'énergie hydraulique (à base d'huile) pour mettre en mouvement un organe mobile ou pour exercer une pression sur un organe récepteur.

- les systèmes de freinage sur les automobiles, les avions et certain tramways ;
- la manœuvre des *gouvernes de vol*¹ sur les avions ;
- la direction assistée sur les automobiles.

1.2.2 Systèmes électropneumatiques

Elle est très présente dans le domaine ferroviaire. Les systèmes électropneumatiques sont très simples à mettre en œuvre. Le fluide est gratuit et partout disponible, comme exemple on cite :

Pour les trains :

- les freins ferroviaires
- la manoeuvre des portes;

Pour les avions:

- la pressurisation (mise en pression de la cabine pour compenser la baisse de pression extérieure liée à l'altitude) ;

1.2.3 Systèmes électrothermodynamiques

Parmi les systèmes électrothermodynamiques, on peut en lister plusieurs:

- le système d'allumage moteur (moteur d'automobile/réacteur d'avion) ;
- le système de régulation carburant/Injection pilotée ;

¹ Les gouvernes de vol sont des dispositifs mobiles, qui permettent de produire ou de contrôler les mouvements d'un aérodyne autour de son centre de gravité suivant trois axes.

- les systèmes de climatisation (train, automobile) ;

1.2.4 Systèmes électrotechniques et électromécaniques

Cette catégorie de systèmes utilise ni fluide, ni transformation chimique, mais uniquement l'énergie électrique pour mettre en rotation, déplacer, éclairer, etc.

- le système de traction ferroviaire;
- les systèmes d'éclairage (intérieur, extérieur) ;

1.2.5 Systèmes électrochimiques

Cette famille concerne les éléments stockant l'énergie électrique à bord sous forme de couple chimique. Le stockage d'énergie électrique est un élément fondamental du système de distribution d'énergie à bord. Dans cette famille se trouvent:

- les batteries de démarrage;
- les batteries de traction ;

1.2.6 Systèmes électropyrotechniques

C'est une catégorie à part, ces systèmes présentent un caractère non-réversible, et ils sont conçus pour être utilisés une seule fois. Citons par exemple:

- les systèmes de coussins airbag dans les automobiles;
- les préensionneurs de ceinture de sécurité;
- les sièges éjectables (avion militaire).

1.2.7 Systèmes électroniques

Cette famille de systèmes concerne des systèmes purement électroniques, qui ont la particularité de ne pas mettre en mouvement des fluides ou des pièces physiques, on retrouve dans cette catégorie:

- les systèmes de communication;
- les systèmes de sécurité antivol;
- les systèmes enregistreurs d'événements.

1.3 Architecture des ordinateurs

1.3.1 Architecture Von Neumann

L'ordinateur est composé :

Unité de calcul : UAL

Mémoire :

- contient le programme (pas câblé = Von Neumann)
- contient les données

Unité de contrôle :

- Chef d'orchestre (E.g. Multiplieur) ;
- Contient en particulier une unité d'adressage pour sélectionner la prochaine instruction à exécuter.

Exécution d'une instruction

♦ L'exécution d'une instruction se décompose en plusieurs phases cadencées par l'horloge:

L'instruction suivante est lue en mémoire : **Fetch**

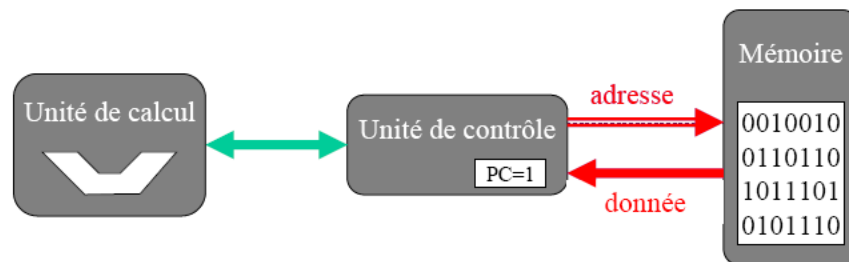
- L'unité de contrôle contient un registre spécial PC (Program Counter) = @ prochaine instruction

La mémoire envoie l'instruction à l'unité de contrôle qui l'analyse : **Decode**

- Nature de l'instruction (calcul, branchement) et récupère les opérandes éventuelles

Le processeur effectue l'opération : **Execute**

Le résultat est mémorisé avant de passer à l'instruction suivante : **Write Back**



Fetch Decode Execute

Figure 1.4 - Exécution d'une instruction.

Architectures à mémoire de données

Modèle de Von Neumann

- 1 seule mémoire qui contient les instructions et les données
- 1 bus d'adresse, 1 bus (bidirectionnel) de donnée
- Logique complexe pour lire/écrire tour à tour les données et les instructions

Modèle Harvard

- 2 mémoires : 1 pour les instructions, 1 pour les données
- 2 bus d'adresse, 2 bus (bidirectionnels) de donnée

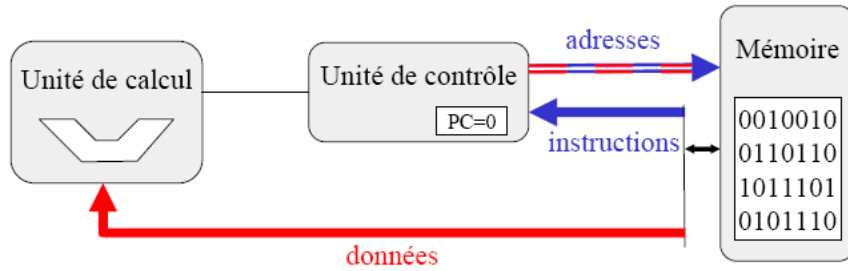


Figure 1.5 Modèle de Von Neumann.

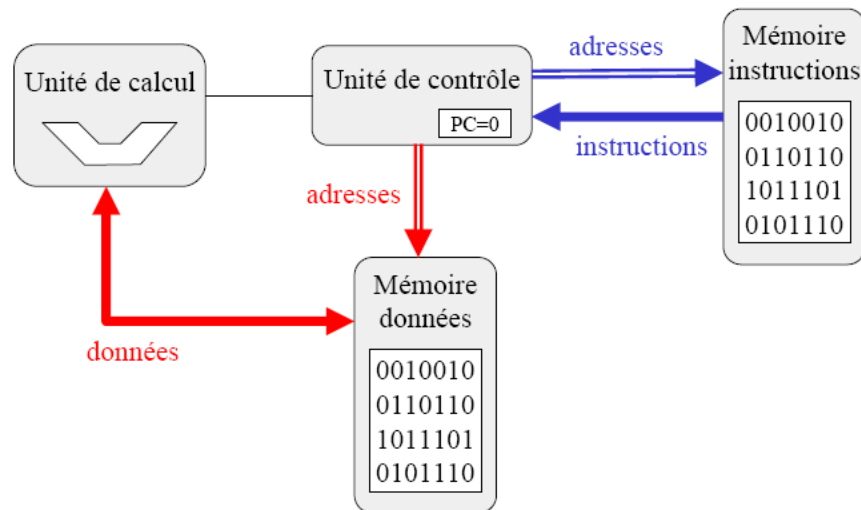


Figure 1.6 Modèle de Harvard.

1.4 Comparaison CISC/RISC

Les processeurs généraux actuels se répartissent en deux grandes catégories appelées CISC pour *Complex Instruction Set Computer* et RISC pour *Reduced Instruction Set Computer*. Les processeurs de ces deux catégories se distinguent par la conception de leurs jeux d'instructions. Les processeurs CISC possèdent un jeu étendu d'instructions complexes. Chacune de ces instructions peut effectuer plusieurs opérations élémentaires comme charger une valeur en mémoire, faire une opération arithmétique et ranger le résultat en mémoire. Au contraire, les processeurs RISC possèdent un jeu d'instructions réduit où chaque instruction effectue une seule opération élémentaire. Le jeu d'instructions d'un processeur RISC est plus uniforme. Toutes les instructions sont codées sur la même taille et toutes s'exécutent dans le même temps (un cycle d'horloge en général). L'organisation du jeu d'instructions est souvent appelé ISA pour *Instruction Set Architecture*.