

Chapitre 2

Systemes

d'acquisition de

donnees

| | |
|--|----|
| Chapitre 2 -Systèmes d'acquisition de données | 1 |
| 2.1 - Définition et composants | 1 |
| 2.2 - Exemples d'applications | 3 |
| 2.2.1 - Installation de surveillance et d'enregistrement (Data-logger),..... | 3 |
| 2.2.2 - Système de régulation ou de traitement numérique (DSP) | 5 |
| 2.2.3 – Automate Programmable Industriel (API – PLC) | 6 |
| 2.2.4 - Système d'essai ou de test | 7 |
| 2.3 - Architectures | 9 |
| 2.3.1 - Carte d'acquisition..... | 9 |
| 2.3.2 Echantillonnages séquentiel et simultanés | 13 |
| 2.3.3 Temps réel ou temps différé..... | 14 |
| 2.3.4 Format des données | 17 |
| 2.3.5 Sorties analogiques..... | 20 |
| 2.3.6 - Interface et chassis d'expansion | 23 |
| 2.3.7 - Bus d'instrumentation..... | 25 |
| 2.3.8 - Bus de terrain (Field-Bus)..... | 27 |
| 2.4 - Logiciel | 28 |
| 2.4.1 - Pilote et langage de haut niveau..... | 28 |
| 2.4.2 - Générateurs d'application..... | 28 |

Chapitre 2 -Systèmes d'acquisition de données

2.1 - Définition et composants

Définition

Système d'acquisition de données : tout ensemble d'appareils interconnectés de manière à permettre l'obtention automatique d'une série de mesure sur un objet. Ce dernier peut aller d'un simple circuit intégré à une chaîne de fabrication complète.

Sur un si large spectre d'applications, il est bien clair qu'on ne peut donner de règles universelles, l'analyse et le choix des caractéristiques du système étant fortement liés à l'application. L'objectif de ce paragraphe est cependant de donner une vision générale de ces systèmes et de leurs composants. Le choix d'une réalisation doit être le résultat d'un travail de synthèse entre les connaissances des moyens de mesure, des structures possibles et des éléments disponibles.

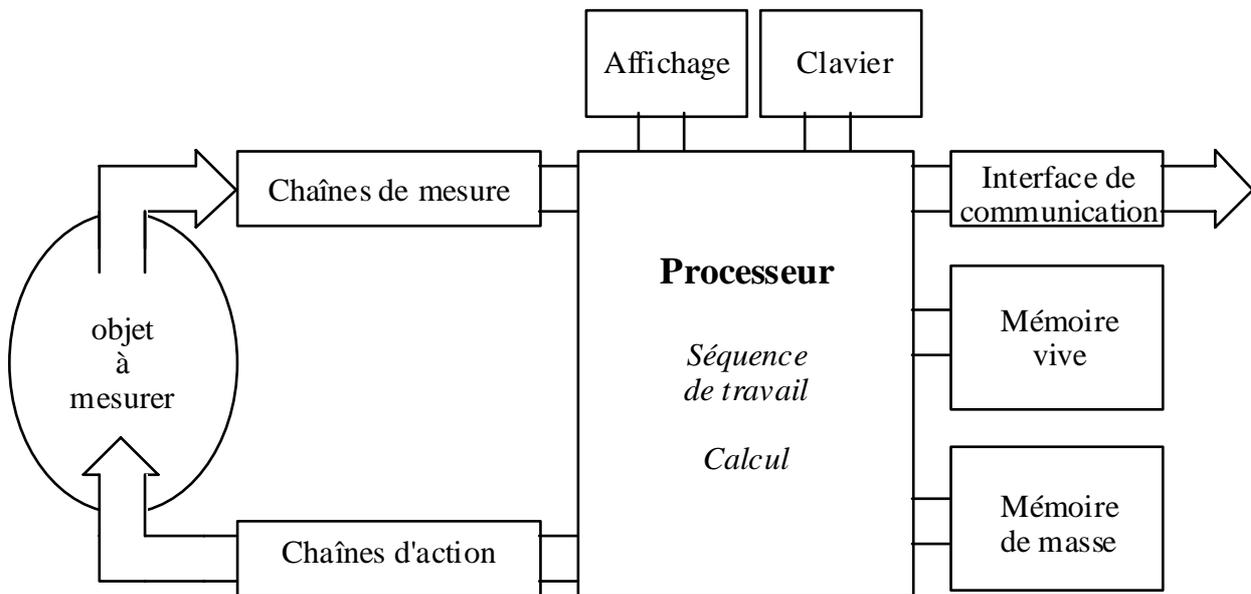


Figure 2.1 - Système typique d'acquisition de données

Tout système d'acquisition comprend **au moins une chaîne de mesure**. Dès que l'on est en présence de plusieurs chaînes, se pose la question d'une économie de matériel en exploitant un multiplexage, soit sous forme analogique (sortie des conditionneurs ou transmetteurs connectées successivement à une seul convertisseur A/D), soit sous forme numérique (les convertisseurs sont reliés au processeur au travers d'un bus numérique).

Dans la majorité des cas, il faut pouvoir agir sur l'objet mesuré au moyen de chaînes d'action. L'action recherchée peut être de type tout ou rien (arrêt d'urgence, enclenchement - déclenchement d'une pompe ou d'un chauffage...) ou de type analogique (envoi d'un stimulus, commande d'une vanne proportionnelle, de la vitesse d'un moteur ...). Dans le premier cas un signal logique de sortie du processeur commande un relais permettant d'appliquer ou non une puissance fixe sur l'actionneur. Dans le second cas la chaîne d'action comprend un convertisseur digital - analogique (D/A) qui commande l'actionneur au travers d'amplificateurs de puissance.

Le coeur du système est son processeur, chargé de commander la séquence de travail, d'effectuer les calculs nécessaires au traitement numérique, d'assurer le sauvetage et la transmission des données ainsi que de la communication avec l'opérateur du système. Selon le type d'application on peut se contenter d'un simple micro-contrôleur, exploiter un processeur de calcul numérique (DSP) ou devoir exploiter un ordinateur haut de gamme.

Pour pouvoir exécuter ses tâches, le processeur doit disposer d'une mémoire vive pour stocker les données, éventuellement la séquence de travail demandée par l'utilisateur. De plus il doit disposer d'un moyen de communication: soit directement avec l'utilisateur par un clavier et un panneau d'affichage (voyants lumineux, affichage numérique, écran tactile graphique), soit par l'intermédiaire d'un processeur hôte. Enfin une mémoire de masse est généralement nécessaire sous une forme ou sous une autre (PROM, mémoire flash, disquette, disque dur ...), pour le programme d'exploitation du processeur et / ou l'archivage des données.

2.2 - Exemples d'applications

2.2.1 - Installation de surveillance et d'enregistrement (Data-logger),

Il s'agit là de surveiller le bon fonctionnement d'une installation et d'obtenir des informations statistiques destinées au contrôle de qualité ou au service d'entretien, ainsi que d'avertir l'opérateur lorsque certaines limites sont atteintes. Généralement l'évolution des conditions de travail est suffisamment lente pour qu'on puisse se contenter d'un intervalle relativement lent entre les mesures: quelques dizaines de secondes à plusieurs heures. Par contre certaines situations peuvent conduire à surveiller un très grand nombre de canaux de mesure (plusieurs centaines) pour des phénomènes très rapides, pendant une durée totale relativement courte (par exemple la recherche sur la fusion nucléaire – tokamak)

Baromètre - altimètre à micro-contrôleur

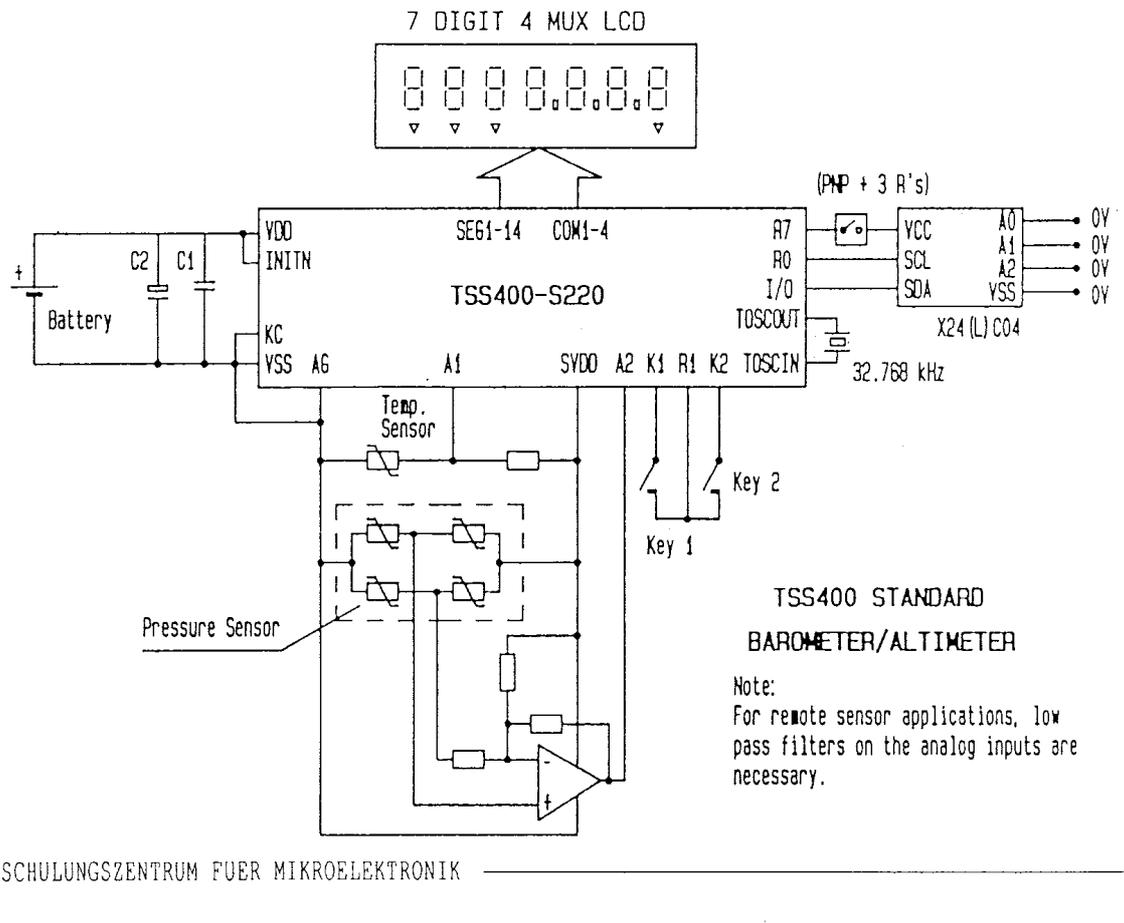


Figure 2.2 – Système de surveillance - Baromètre-Altimètre

Le micro-contrôleur comprend d'une part un convertisseur A/D et un multiplexeur 4 canaux, d'autre part un interface pilotant directement un affichage numérique ainsi que la lecture d'un clavier maximum 16 touches. Un canal d'entrée est utilisé avec un capteur de pression accompagné d'un simple amplificateur différentiel comme conditionneur. Un deuxième canal est utilisé avec un capteur de température conditionné par une simple

résistance série. L'information de température est utilisée pour corriger la dérive du capteur de pression. Deux touches de clavier sont utilisées pour commander le type d'affichage (pression ou altitude) ou initialiser l'appareil (définition initiale de l'altitude à un point connu). Ici aucun archivage des données n'est nécessaire; la mémoire de masse ne contient que le programme du micro-contrôleur (X24(L)C04.

Surveillance d'un prototype de bus à piles à combustible

Dans le cadre des projets Eureka, une recherche sur l'exploitation de piles à hydrogène a été entreprise: Un bus a été équipé d'une batterie de piles et un système d'acquisition est chargé de surveiller le comportement en usage normal ainsi que de calculer les rendements du système. En plus des tâches statistiques, destinées à la recherche, le système est capable de donner l'alarme au conducteur en cas de problème.

Hydrogen-Powered Eureka Motor Bus

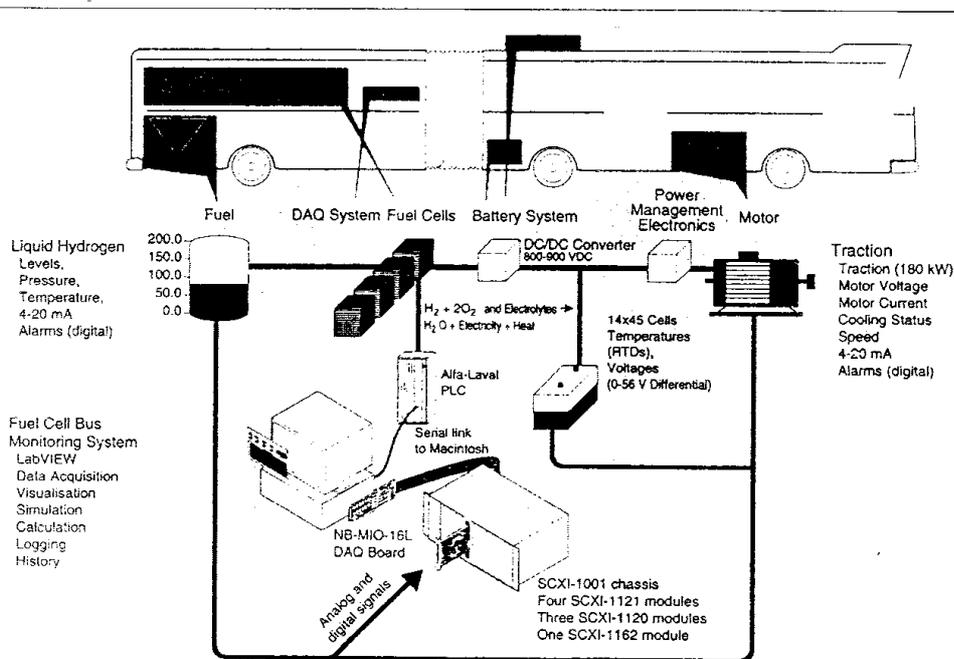


Figure 2.3 – Système de surveillance (data-logger) : Projet Eureka pour piles à combustible

2.2.2 - Système de régulation ou de traitement numérique (DSP)

En plus de la mesure proprement dite, ces systèmes sont capables de fournir des signaux de sortie analogiques permettant d'agir sur le processus et de régler une ou plusieurs grandeurs de sortie. Généralement ils n'utilisent qu'un nombre limité d'entrées et de sorties, mais par contre ils doivent pouvoir assurer une relativement grande fréquence d'échantillonnage (nombre de mesures par seconde sur chaque signal), ainsi qu'une puissance de traitement numérique assez élevée. Très rapidement la complexité de l'algorithme de régulation ou la vitesse d'échantillonnage imposent l'utilisation d'un processeur de signaux (digital signal processor = DSP) uniquement affecté aux calculs de traitement de signal en temps réel, l'interface utilisateur et l'archivage étant assurée par un processeur hôte (PC ou ordinateur central).

Régulateur numérique

Un simple micro processeur suffit pour des algorithmes simples. Par contre pour une régulation plus efficace, une méthode auto-adaptative rend le calcul suffisamment complexe pour exiger l'exploitation d'un DSP.

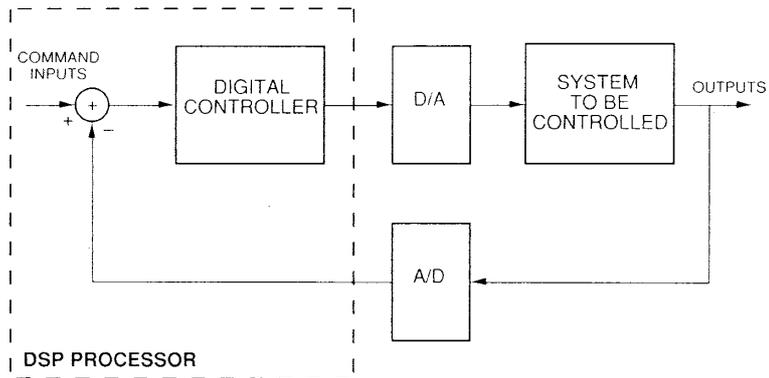


Figure 2.4 – Principe de régulateur numérique

Traitement de la parole,
traitement d'image

L'exemple ci-contre montre la réalisation d'une transmission par codage prédictif linéaire (LPC), utilisé dans les téléphones mobiles. L'objectif du système est de réduire le débit de données: au niveau des convertisseurs on a 64 kbits/s, alors que sur la ligne de communication on n'en a plus que 13 kbits/s

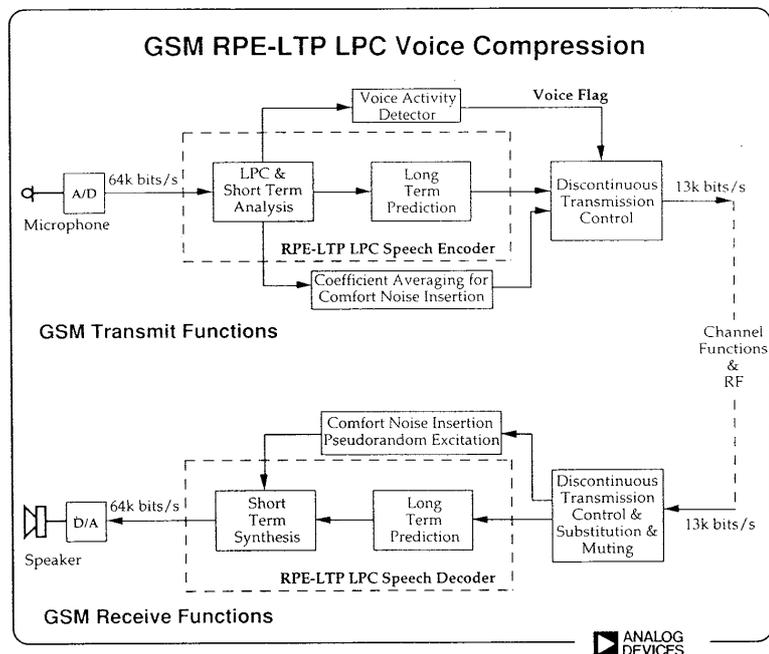


Figure 2.5 – Système de traitement numérique du signal

2.2.3 – Automate Programmable Industriel (API – PLC)

Ces systèmes ont pour objectif la réalisation d’une recette de fabrication. Héritier des automates câblés à l’aide de relais, il génèrent une séquence de travail, sur la base de l’état actuel des différents composant. Les entrées et sorties sont principalement de type tout-ou-rien (détecteur de présence, enclenchement/déclenchement). Ici c’est la notion de temps réel qui est primordiale, pour garantir un temps de réaction déterminé à un événement ; cette exigence est particulièrement vitale dans les applications de type robotique où l’on veut pouvoir piloter une trajectoire avec plusieurs axes synchronisé, les temps de réaction descendent alors souvent largement en dessous de la milliseconde, voir de quelques dizaines de micro-secondes.

Le principe de fonctionnement exige donc que cycliquement, l’automate lise toutes les entrées du système, calcule les nouvelles sorties de commande, puis génère ces sorties, garantissant ainsi un temps de réaction déterminé.

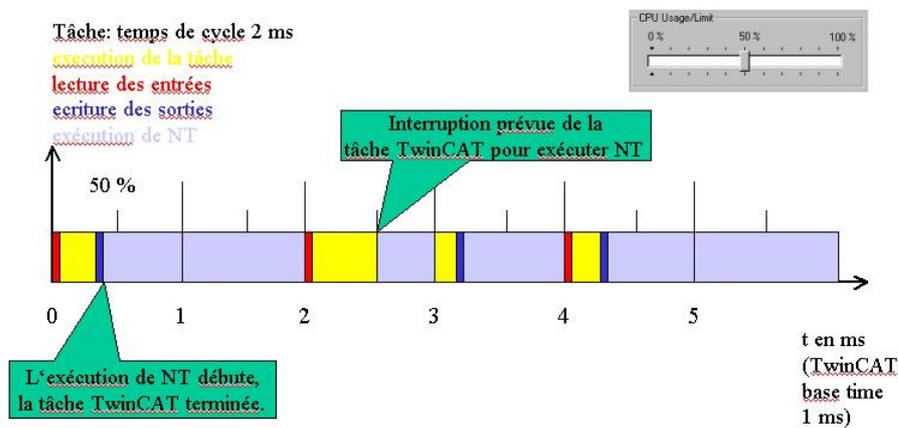


Figure 2.6 – Cycle d’un automate (Beckhoff)

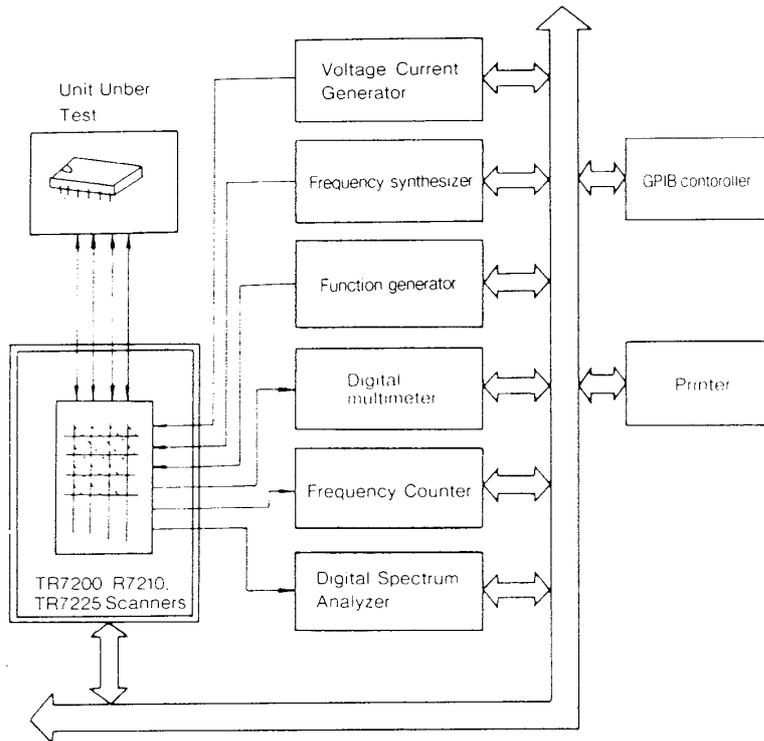
L’évolution des besoins a nécessité l’utilisation de micro-processeur, puis d’unités centrales de plus en plus évoluée pour introduire la possibilité d’utiliser des délais d’attente, des entrées-sortie analogiques, voir des algorithmes de régulation. Si bien que la tendance actuelle est de les remplacer par un PC embarqué (PC-industriel) comprenant également un sous-ensemble du système d’opération Windows, tout en garantissant une priorité absolue au temps réel.



Figure 2.7 - Automate sous forme de PC-embarqué avec entrées-sorties locale et bus de terrain

2.2.4 - Système d'essai ou de test

Destinés à vérifier le bon fonctionnement d'un produit (circuit intégré, module sur carte imprimée, appareil complet), ces systèmes doivent pouvoir simuler les conditions de fonctionnement du produit et vérifier que ses caractéristiques correspondent aux spécifications. Leur tâche principale est donc l'**identification** de la caractéristique du produit.

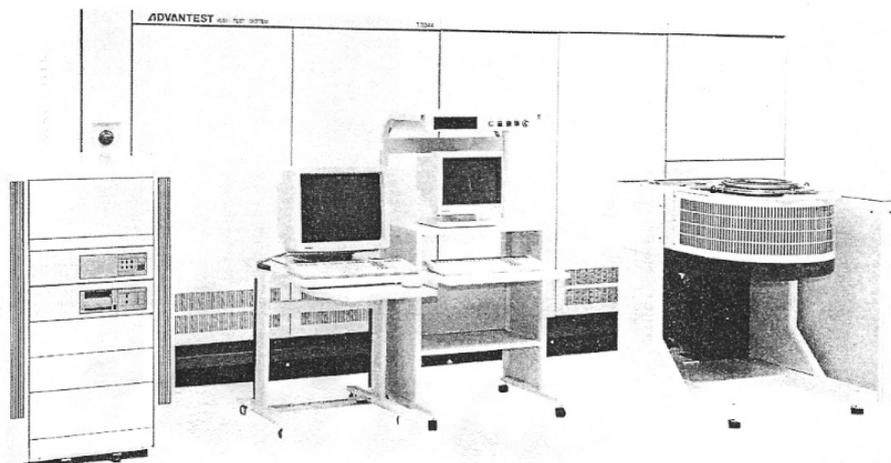


Les signaux du circuit sous test sont trop rapides pour pouvoir être analysés ou générés même par un DSP, ce qui oblige à utiliser des appareils analogiques programmables. Le multiplexage intervient donc au niveau numérique par un bus d'instrumentation (ici le bus GPIB, mais la tendance actuelle est d'utiliser le bus VXI, plus rapide et plus efficace).

Figure 2.8 – Système de test de production de circuits intégrés

Un deuxième multiplexage est nécessaire au niveau des signaux analogiques: la séquence de mesure exige d'appliquer les signaux d'excitation et les appareils de mesure en différents points du circuit essayé au cours des diverses étapes de l'essai. Pour cela on utilise une matrice de commutation dont la propriété est de permettre de relier chacune des lignes verticales (bornes du circuit essayé) à chacune des lignes horizontales (entrée des appareils de mesure ou sortie des générateurs).

- 40/80 MHz ASIC and Gate Array Testing
- Configured Up to 512 I/O Pins



2.3 - Architectures

2.3.1 - Carte d'acquisition

Les cartes universelles d'acquisition permettent de réaliser à bon marché des applications d'acquisition et de contrôle de processus. Il ne faut pas oublier cependant que leur résolution et leur précision sont limitées, qu'elles sont sujettes à passablement de bruit (terre du PC largement perturbée par les transitoires de la logique rapide) et que les fréquences d'échantillonnage sont limitées tant par le nombre de canaux à mesurer que par la nécessité de les commander directement par le processeur.

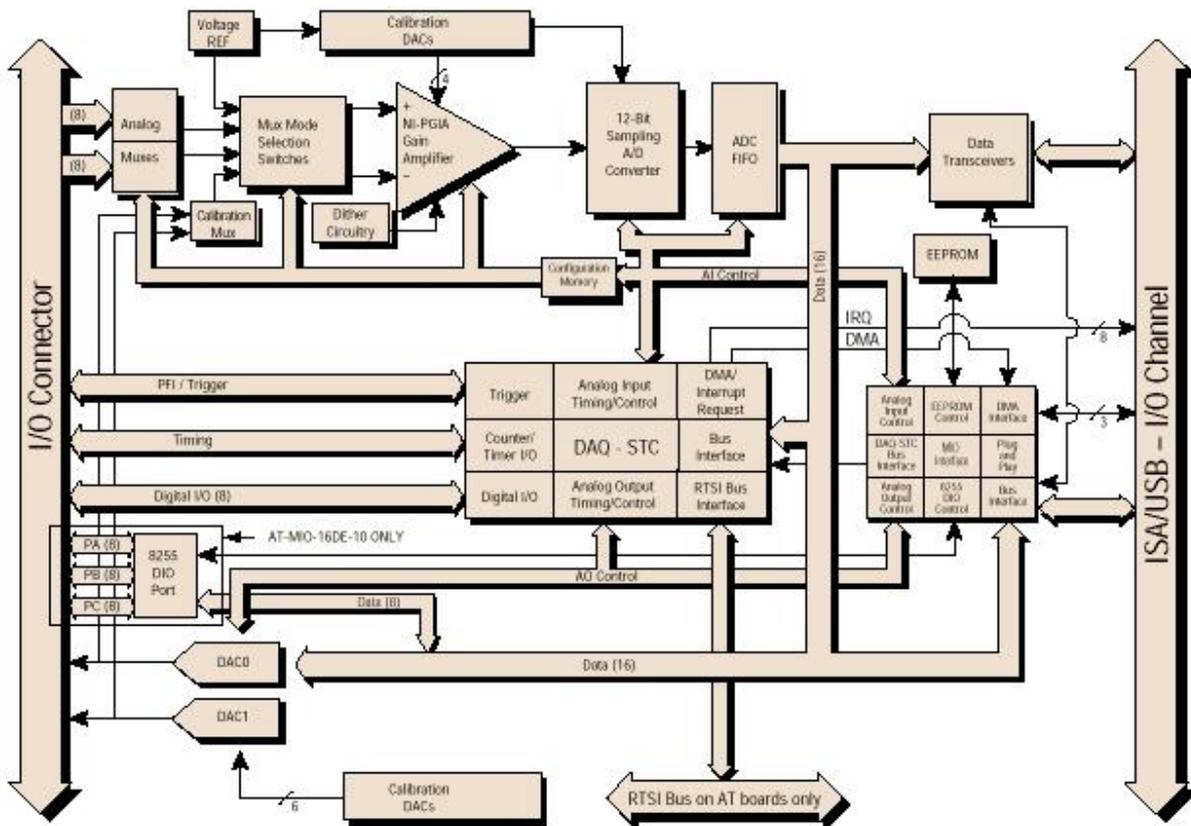


Figure 2.9 – Carte universelle d'acquisition

La carte MOI-16, dont le schéma est présenté ci-dessus, comprend:

- **8 ou 16 entrées analogiques (Ain0 à Ain7 ou Ain15):** un multiplexeur 16 canaux asymétriques (commutable en 8 canaux différentiels) est suivi d'un amplificateur d'instrumentation à gain programmable (gain 0.5/1/2/5/10/20/50/100), puis du convertisseur AD 12bits (gamme ±5V ou 0-10V) et d'un tampon (FIFO)
- **2 sorties analogiques (Aout0 et Aout1):** deux convertisseurs DA, avec leur tampon et les commutations de gamme de sortie associées (gamme ±10V / 0-10V avec référence interne ou ±EXT / 0-EXT en référence externe, celle-ci étant limitée à ±11V)
- **8 entées/sorties digitales:** avec lesquelles on peut travailler individuellement bit à bit, ou de manière globale en tant que groupe

- **des compteurs programmables:** pour gérer la fréquence de balayage entre canaux et la fréquence d'échantillonnage, plus 2 compteurs disponibles pour générer des signaux externes de synchronisation (impulsions de durée ou de fréquence programmable, comptage d'événements ...)
- un connecteur interne (RTSI) pour la synchronisation entre cartes multiples d'acquisition
- un connecteur externe pour relier les signaux.

2.3.1.1 Modes du multiplexeur:

Trois modes de fonctionnement du multiplexeur sont à disposition:

- **SE – Asymétrique:** Le multiplexeur relie l'une des 16 bornes d'entrée (Ain0 à Ain15) à l'entrée « hi » du PGA, alors que l'entrée « lo » est mise à la masse (gnd) de la carte. On mesure ainsi le potentiel de la borne correspondante par rapport à la carte. Cette méthode est donc dangereuse, si les sources de signal sont référées à la masse locale : le bruit au niveau de la masse du pc s'ajoute aux signaux mesurés. *A n'utiliser que pour des sources de signal flottantes dont on pourra connecter la borne de référence à la masse de la carte !!*

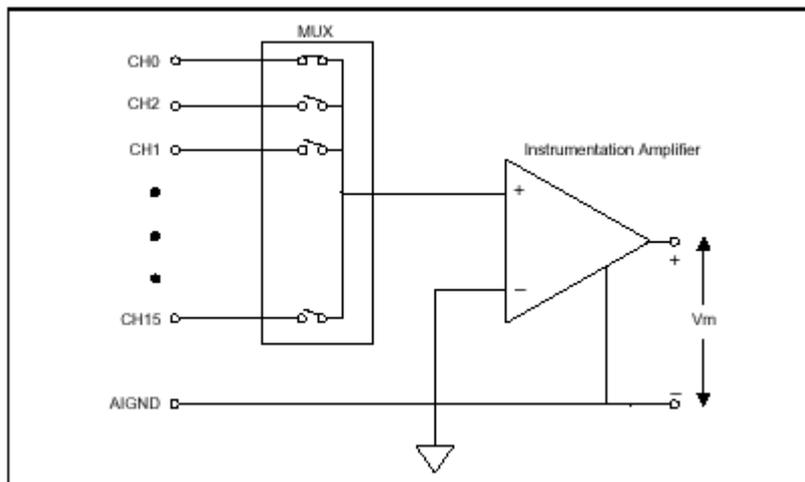
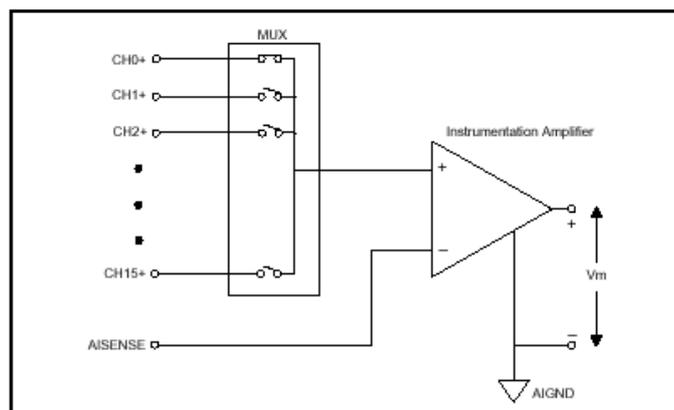


Figure 2.10 – Mesure asymétrique (SE = Single Ended)

- **RSE – pseudo-différentiel ou asymétrique à référence externe :** le multiplexeur fonctionne de la même manière, mais la borne « lo » du PGA est reliée à la borne « Aisense » du connecteur externe. Il faut alors



relier cette borne à la référence zéro (généralement la masse) de l'objet à mesurer. On élimine ainsi les problèmes de bruit au niveau de la masse du PC. Cependant toutes les sources de signal doivent être reliées à ce même point commun « Aisense ».

Figure 2.9 – Mesure Pseudo-différentielle ou Asymétrique référencée (RSE = Referenced Single Ended)

- **Diff – Vrai différentiel** : le multiplexeur est séparé en deux parties travaillant simultanément : la partie A relie le canal i (Ain0 à Ain7) à la borne « hi », pendant que la partie B relie la borne correspondante $i+8$ (Ain8 à Ain15) à la borne « lo ». On mesure alors vraiment la différence de potentiel entre un couple de bornes (Ain0 et Ain8, Ain1 et Ain9 ...), mais on ne dispose plus que de 8 canaux. La seule exigence à respecter est que le mode commun reste dans le domaine supporté par le PGA, soit que chacune des bornes reste dans le domaine de $\pm 11V$ par rapport à A-gnd (masse de la carte).

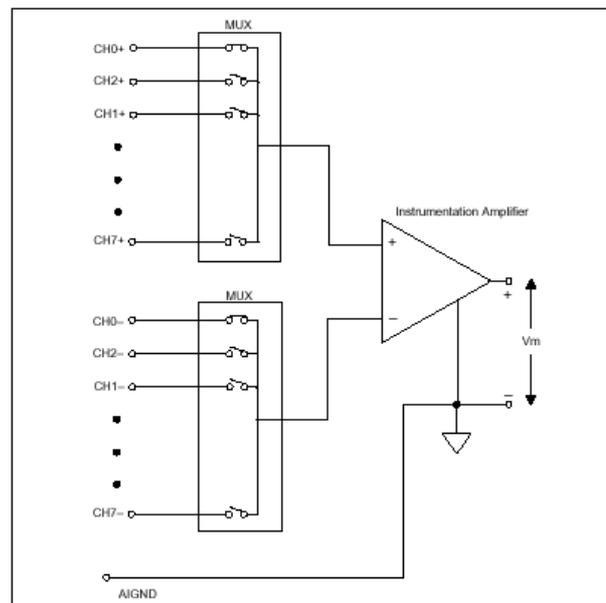


Figure 2.12 – Mesure différentielle

2.3.1.2 Sources flottantes et courants de polarisation

Lorsqu'on mesure une source flottante, il faut prévoir un chemin de retour vers A-gnd pour les courants de polarisation du PGA (mode RSE et Diff). L'absence d'un tel chemin galvanique provoquerait la saturation du PGA. Ces courants sont inférieurs à 200 pA. Une résistance de l'ordre de 100 kOhms contre A-gnd, suffit, mais afin de ne pas dégrader le taux de réjection du mode commun, il est préférable de connecter une résistance sur chacune des deux entrées (hi et lo). Le dimensionnement de ces résistances se fait en fonction du mode commun : ce montage ajoute un mode commun de $(200 \text{ pA} * 100 \text{ kOhms}) = 20 \text{ } \mu\text{V}$ généralement négligeable. On voit qu'on pourrait sans autre fortement augmenter la valeur des résistances.

Au laboratoire C05, le pilote NI-DAQ a été configuré pour choisir le mode différentiel, puisque c'est la méthode de mesure la plus fiable et la plus souple. Ce n'est que lorsqu'une application demande plus de 8 canaux d'entrées, qu'il sera nécessaire de changer de mode (changement entièrement programmable d'ailleurs).

2.3.1.3 Conditionnement des signaux

Bien que le fait de disposer d'un PGA permette un grand choix des gammes de mesures (100mV à 10V en unipolaire et $\pm 50\text{mV}$ à $\pm 10\text{V}$ en bipolaire), la plupart des applications exigent d'utiliser des circuits de conditionnement (capteur, atténuateur, amplificateur, shunt ...) avant de relier les signaux à la carte. Le pilote de la carte est généralement capable de tenir compte automatiquement du gain du PGA. Il peut ainsi fournir les résultats des conversions selon deux options :

- en V au niveau du connecteur d'entrée (nombre réel).
- ou directement le code de conversion sous forme d'un nombre entier (± 2048).

C'est à l'utilisateur de tenir compte des caractéristiques de conditionnement pour calculer l'équivalent de la grandeur mesurée en unités physique (degrés Celsius, Bar, Kg ...)

2.3.2 Echantillonnages séquentiel et simultanés

2.3.2.1 Carte standard – échantillonnage séquentiel

La commande de conversion des canaux exploite deux horloges (généralement programmables): La **fréquence de scrutation** ou horloge canaux f_{can} (dont la période est l'« interchannel delay ») permet de choisir l'intervalle de mesure entre deux canaux successifs, alors que la **fréquence de balayage** $f_{\text{éch}}$ ou « scan clock » permet de choisir la fréquence de mesure sur chaque canal, soit la période à laquelle on renouvelle la scrutation de tous les canaux demandés.

Il est bien sûr nécessaire que $f_{\text{can}} > (\text{nb canaux}) * f_{\text{éch}}$.

En d'autres termes, pour une carte d'acquisition dont la fréquence de scrutation maximum (*malheureusement souvent désignée par fréquence d'échantillonnage*) est donnée, on constate que la fréquence réelle d'échantillonnage maximum dépend du nombre de canaux mesurés N_{can} :

$$F_{\text{éch}} \leq \frac{f_{\text{scan}}}{N_{\text{can}}}$$

Graphiquement on peut représenter les acquisitions comme suit :

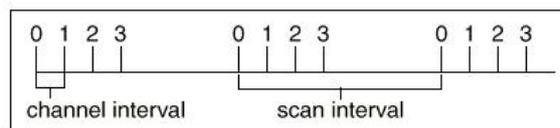


Figure 2.13 – Horloges de scrutation et de balayage

Le choix de f_{can} dépend des circuits de conditionnement utilisés : si l'impédance de source est très faible, le temps d'établissement des tensions dans le multiplexeur, au moment de la commutation ne dépend que de la carte d'acquisition et l'on peut utiliser la fréquence maximum possible de la carte. Si au contraire ces impédances ne sont pas négligeables, on risque de mesurer la tension avant qu'elle ait atteint la bonne valeur, introduisant donc des erreurs supplémentaires, il faut donc demander une horloge plus lente. Pour rechercher l'horloge idéale, il faut augmenter le délai inter-canaux à partir de la valeur par défaut de la carte (labo C05 : 10 μs) jusqu'à obtenir des indications correctes. Un bon critère de vérification est que en augmentant encore le délai, on ne constate plus de changement sur les valeurs lues.

Cette structure d'acquisition permet d'abaisser les coûts, puisqu'un seul convertisseur, et un seul ampli programmable servent à plusieurs canaux. Par contre en raison des mesures successives, le délai entre canaux introduit un déphasage artificiel entre les canaux. Ce déphasage est sans importance tant que l'on traite chaque canal pour lui-même. Par contre, si l'on veut identifier un processus, en analysant les signaux d'entrée et de sortie, ces déphasages peuvent influencer considérablement les résultats.

2.3.2.2 Echantillonnage simultané

Lorsque l'on doit conserver la relation de phase entre les canaux, il faut utiliser du matériel permettant la mesure simultanée sur les canaux : Les cartes d'acquisition à échantillonnage simultané comprennent un convertisseur et un ampli programmable par canal. Leur coût en est d'autant plus élevé (à bande passante et fréquence de scrutation équivalentes).

Une autre solution consiste à exploiter plusieurs cartes standard, et à synchroniser les conversions sur chaque carte (par un bus interne entre les cartes, transmettant les horloges de scrutation et de balayage d'une carte maître, vers la ou les cartes esclaves). Les canaux correspondant sont alors synchrones.

2.3.3 Temps réel ou temps différé

Les applications en temps réel exigent de traiter chaque échantillon immédiatement (par exemple dans une application de régulation). Dans ce cas à chaque échantillon on peut lire les valeurs mesurées directement sur la carte, dans la mémoire FIFO. La fréquence d'échantillonnage est déterminée par le temps d'exécution du programme (y compris une attente software éventuelle). Cette fréquence reste relativement basse, de l'ordre du kHz, si le traitement des échantillons est simple. Dans une application élémentaire il faut commencer par créer une liste des canaux à mesurer et des gains à utiliser pour chaque canal (AI-Config). On pourra ensuite commander les mesures, attendre la fin des conversions, enfin de lire les résultats directement dans le FIFO par un appel spécifique du pilote (AI Single Scan) à chaque période d'échantillonnage.

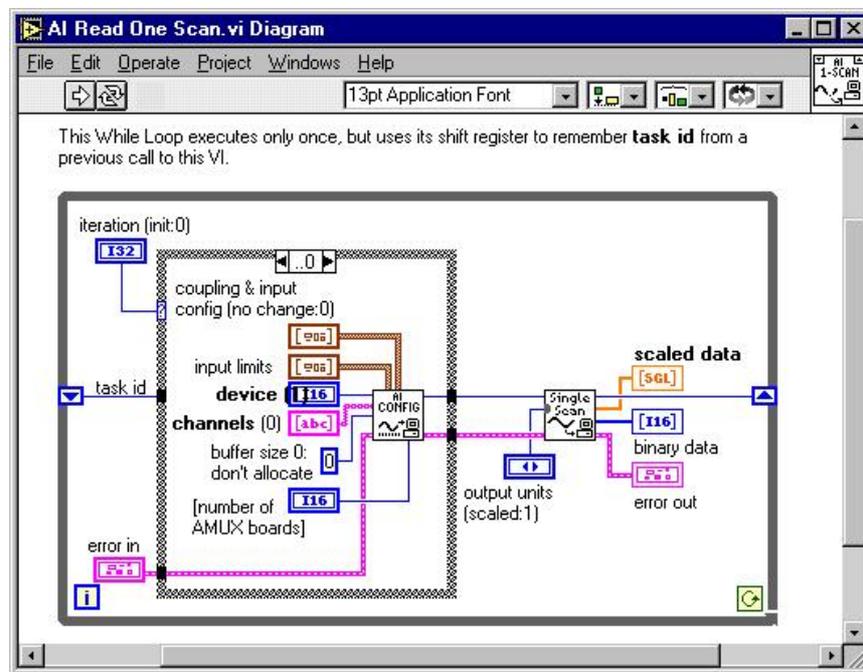


Figure 2.14 – Acquisition immédiate

La configuration de la carte n'est nécessaire qu'au premier appel. La vitesse de ce type d'application est fortement limitée par la quantité de traitement à faire sur les échantillons mesurés. Par la suite on se réfère à

l'identificateur de tâche fourni par AI-Config, sans avoir besoin de transmettre toutes les informations de configuration. Plusieurs tâches parallèles peuvent ainsi être définies.

Lorsqu'on veut atteindre de hautes fréquences d'échantillonnage, ou que l'on désire traiter un ensemble d'échantillons successifs (par exemple FFT), il faut travailler en temps différé : Après configuration de la carte, on démarre les transferts DMA (Direct Memory Access) qui vont stocker les échantillons mesurés dans un tampon intermédiaire que le programme principal ira lire après l'acquisition.

2.3.3.1 Tampon standard

Si l'on connaît à l'avance le nombre d'échantillons à mémoriser à partir du début de l'acquisition (démarrage directement par le logiciel, par un déclenchement analogique lorsque la carte d'acquisition le permet, ou déclenchement par un signal logique externe), alors le tampon est connu d'avance. Un pointeur gère les écritures à partir des conversions, et lorsque le tampon est plein on arrête automatiquement les conversions. La lecture peut se faire en une fois ou par sections, ce qui implique un pointeur de lecture.

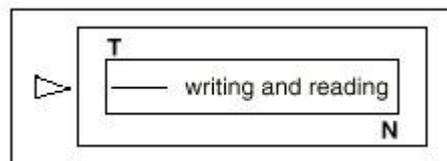


Figure 2.15 – Tampon simple

Le premier balayage des canaux (scan), correspond au point de déclenchement. Il est désigné par T dans la figure, au début du tampon. Le dernier scan correspond à l'échantillon N.

Cette méthode implique une limitation : entre deux blocs d'acquisitions successives (si l'on répète l'acquisition), le convertisseur est arrêté. On aura donc une perte d'informations entre la fin d'un bloc et le démarrage du suivant.

2.3.3.2 Tampon circulaire

Pour une acquisition en continu, sans perte d'information, on utilisera un tampon plus grand que nécessaire pour les N échantillons désirés, et ce tampon sera organisé de manière circulaire : Les acquisitions ne s'arrêtent pas après N échantillons, mais on continue à remplir le tampon pendant que le programme traite les N premiers échantillons. Lorsque le pointeur d'écriture arrive en fin du tampon, il est automatiquement remis au début, si bien que les nouveaux échantillons écrasent les données du début du tampon.

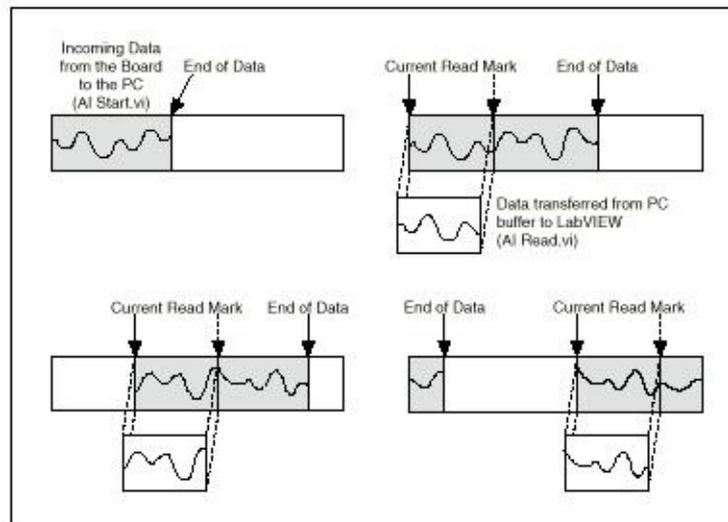


Figure 2.16 – Tampon circulaire

Si le programme de traitement est suffisamment rapide, on disposera toujours dans le tampon d'assez de place pour ajouter les nouveaux échantillons, sans jamais parvenir à un débordement (situation dans laquelle les nouveaux échantillons pourraient écraser des données qui n'ont pas encore été exploitées).

Pour exploiter ces méthodes il faut définir la taille du tampon lors de la configuration de la tâche d'acquisition (AI-Config), puis démarrer les conversions et le transfert DMA (AI-Start) en précisant la fréquence d'échantillonnage et le nombre de balayages à acquérir. Celui-ci correspond au nombre total de balayages acquis avant la fin de l'acquisition. Un balayage représente un point par voie. Lorsque la valeur d'entrée est -1, on remplit exactement un tampon de données. Si vous définissez le nombre de balayages à acquérir égal à 0, alors la carte acquière les données indéfiniment dans le tampon circulaire jusqu'à ce que vous réinitialisiez l'acquisition (AI Clear).

2.3.3.3 Déclenchement de l'acquisition

Très souvent lors d'acquisition, on souhaite acquérir un tampon donné des mesure lorsqu'une condition est atteinte. Ce déclenchement des acquisitions peut être provoqué par un signal logique externe, par un circuit de déclenchement analogique propre à certaines cartes (en général comparaison de la tension avec un niveau et une pente de déclenchement) ou enfin par analyse logicielle. Dans les deux premiers cas l'horloge de balayage est démarrée par le signal de déclenchement, et on ne peut enregistrer qu'après cet événement. On parle d'acquisition « **post-déclenchement** », et l'on peut au besoin retarder l'enregistrement d'un nombre quelconque de périodes de balayage. Il est cependant des cas où une partie importante de l'information précède le point de déclenchement. Dans ce cas, il convient d'exploiter le déclenchement logiciel dans lequel l'utilisateur peut demander N « pré-balayages » avant déclenchement, on parle alors d'acquisition « **pré-déclenchement** »: Après configuration de la carte d'acquisition et du tampon (AI-Config), les conversions sont immédiatement

démarrées dans le tampon, utilisé de manière circulaire. Le pilote vérifie en permanence le contenu du tampon pour détecter une éventuelle condition de déclenchement. Lorsque celle-ci est trouvée, il laisse faire les N ($= N_{\text{tampon}} - N_{\text{pré}}$) balayages post-déclenchement, puis arrête les conversions. Le tampon contient donc finalement l'ensemble des balayages entourant le point de déclenchement.

Dans cette méthode, N peut être au maximum égal à la longueur du tampon (on ne peut observer que l'équivalent d'un tampon avant le déclenchement). De plus les balayages ne sont pas synchrones avec le déclenchement (d'un enregistrement à l'autre les échantillons peuvent se décaler de 0 à une période d'échantillonnage, donnant ainsi l'impression d'une vibration de l'image : jitter).

2.3.4 Format des données

La fonction de lecture AI READ fournit les résultats de mesure sous forme d'un tableau de nombres réels simple précision (Single), à deux dimensions. Il est donc important de comprendre l'organisation des données dans ce tableau. La sélection d'un élément du tableau fait intervenir deux indices. Le premier indice correspond à la dimension la plus extérieure de la matrice (ses lignes), le dernier correspond à l'indice le plus intérieur (les colonnes).

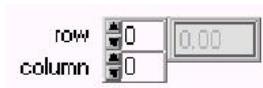


Figure 2.17 – Affichage d'un élément du tableau sous LabView

Lors de l'acquisition de données, à chaque échantillon on balaye l'ensemble des canaux, les données sont donc sauvées selon l'indice intérieur du tableau, créant ainsi une ligne du tableau. Les colonnes correspondent alors aux canaux mesurés successivement (dans l'ordre choisi par l'utilisateur). A chaque échantillon on incrémente l'indice externe, et les lignes du tableau correspondent aux numéro des échantillons.

| | | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|----------|----------|
| scan channel | 0 | sc0, ch0 | sc0, ch1 | sc0, ch2 | sc0, ch3 |
| | 1 | sc1, ch0 | sc1, ch1 | sc1, ch2 | sc1, ch3 |
| | 2 | sc2, ch0 | sc2, ch1 | sc2, ch2 | sc2, ch3 |
| | 3 | sc3, ch0 | sc3, ch1 | sc3, ch2 | sc3, ch3 |

Figure 2.18 – Tableau de sortie d'une routine d'acquisition multi-canaux

Lors d'un affichage graphique multi-courbes, la convention est inverse : l'indice intérieur correspond au No de l'échantillon, l'indice externe correspond au No de la courbe (donc au canal). Heureusement on dispose de fonction de transposition de la matrice. Certains pilotes proposent le choix entre une convention et l'autre directement à la lecture des mesures.

2.3.4.1 Liste de canaux

Toute fonction d'acquisition exige de recevoir une liste de canaux et éventuellement les gammes de mesure correspondantes. L'utilisateur dispose d'une grande liberté dans la manière de spécifier cette liste, selon qu'il veut utiliser les noms de canaux définis lors de la configuration du système (Measurement & automation explorer – MAX) ou s'il veut faire appel au numéros physiques des canaux. Le liste se présente toujours sous la forme de chaînes de caractères, mais selon les fonctions, on doit utiliser soit un scalaire, soit un tableau de chaînes de caractères.

Si l'on désire exploiter les noms spécifiques de configuration , c'est à l'utilisateur de vérifier qu'il exploite les noms existants (avec la bonne orthographe, attention aux espaces et caractères spéciaux, par contre il n'y a pas de distinction entre majuscule et minuscule). Dans ce cas, la carte d'acquisition, la gamme de mesure, et les conversions en grandeur physique sont prise en compte, il n'y a donc pas besoin de spécifier un numéro de carte ni de limites de gamme.

Si l'on veut exploiter directement les numéros physiques des canaux de la carte, alors on spécifie le numéro du canal sur la carte (0 à 7 ou 15), et il faut introduire le numéro de la carte (device 1, au laboratoire) comme paramètre auxiliaire. Si l'on veut choisir une autre gamme de mesure que $\pm 10.0V$ (valeur de configuration de la carte au laboratoire), alors il faudra spécifier les limites de mesure.

Dans chaque chaîne de caractère, on peut spécifier un seul canal (nom ou No), une succession de canaux (séparés par des virgules) ou un ensemble contigu de canaux physiques (Nos des canaux extrêmes séparés par « : », par exemple 0 :3 pour les canaux 0 à 3 de la carte).

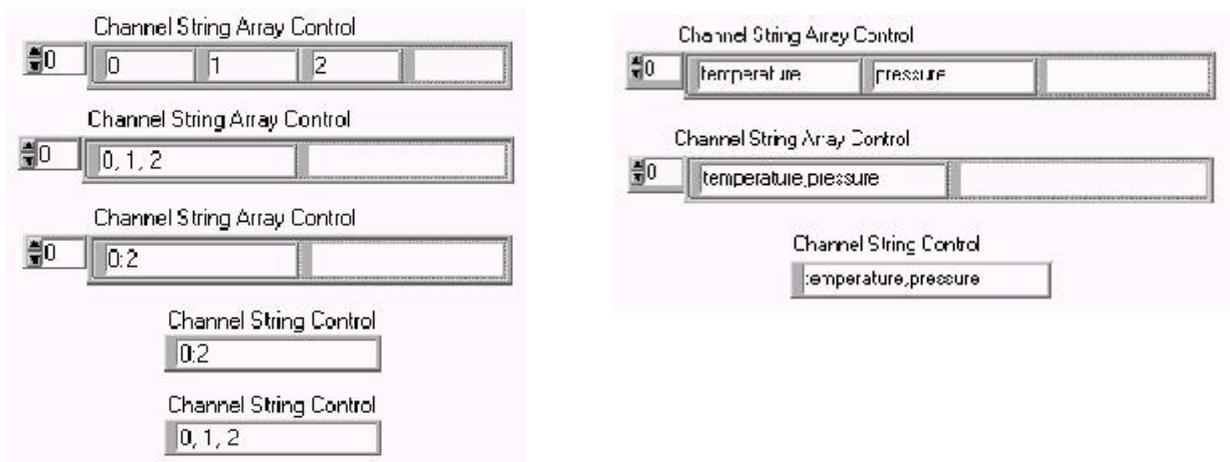


Figure 2.19 – Différentes possibilités de spécifier les liste de canaux

On voit qu'on peut spécifier les canaux temperature et pression, soit à raison d'un canal par chaîne dans un tableau, soit par les deux noms séparés par un virgule dans un seul élément. De même pour les canaux de la carte, avec la possibilité supplémentaire de spécifier l'ensemble des canaux 0 à 2 sous forme abrégée. Seules les fonctions élémentaires utilisent un scalaire comme liste de canaux. Tous les autres utilisent un tableau.

2.3.4.2 Choix des gammes

Lorsqu'on spécifie les canaux par leurs noms, les gammes de mesures, et la carte à utiliser sont automatiquement reprises de la liste système (MAX). Il n'est donc pas nécessaire de les spécifier, sauf s'il est nécessaire de modifier la gamme, dans ce cas les valeurs correspondent à l'unité physique d'entrée du capteur. Par contre lorsqu'on désigne les canaux par leur numéro physique sur la carte, alors il faut spécifier sur quelle carte ils se trouvent (device), et spécifier la gamme de mesure (dans l'unité de la carte, donc en V) à l'aide de « input limits ».

La gamme de mesure est spécifiée par les limites inférieure et supérieure de la gamme. Cette paire de valeurs est regroupée dans un cluster. Si ce paramètre n'est pas câblé, ou qu'on a introduit des valeurs nulles, le pilote utilisera les valeurs de la configuration de la carte (Numéro de canal) ou de la liste du MAX (nom de canal). Lorsqu'on introduit des valeurs non nulles, le pilote choisira le gain du PGA de manière à obtenir la meilleure résolution possible compatible avec les limites.

Par exemple des limites de -0.1 et +0.2 V placeront le convertisseur AD en mode bipolaire, et le PGA avec un gain de 20, soit une gamme de conversion de $\pm(5.0/20)=\pm0.25V$. Les résultats de mesures seront cependant écrêtés entre -0.1 et + 0.2 selon les limites demandées. Si l'on demande des limites de 0.1 et 4.5V alors le convertisseur travaillera en mode unipolaire, et le gain sera de 2, soit une gamme de conversion de 0 à +5V (rappel : la gamme de base du convertisseur est de $\pm 5V$ en bipolaire et de 0-10V en unipolaire).

Lorsque la liste des canaux et les limites sont sous la forme d'un scalaire (appareils élémentaires), la même gamme de mesure est utilisée pour tous les canaux de la liste. Lorsque ces paramètres sont sous la forme de tableaux (tous les autres appareils), chaque élément du tableau correspond à un groupe de canaux, affectés des limites de l'élément correspondant du tableau des limites.



Figure 2.20 – Groupes de canaux et gammes de mesure

Dans l'exemple ci-dessus, trois groupes de canaux ont été définis :

- Le groupe 0 comprend les canaux 0 à 3, avec une gamme de $\pm 10V$
- Le groupe 1 comprend le canal 4, avec une gamme de $\pm 5V$
- Le groupe 2 comprend les canaux 5 à 7 avec une gamme de 0 à 1V

Si le tableau des limites comporte moins d'éléments qu'il n'y a de groupes de canaux, le dernier élément des limites est utilisé pour les groupes supplémentaires. Par conséquent si, dans l'exemple précédent le tableau des limites ne comprenait que les deux premiers éléments, alors la gamme $\pm 5V$ serait également utilisée pour le groupe 2 (canaux 5 à 7).

2.3.5 Sorties analogiques

2.3.5.1 – Commande point à point

Lorsque les tensions à générer varient lentement, (régulation, commande), l'appel d'une fonction (AO 1-update) permet d'actualiser immédiatement le ou les canaux de sorties. On transmet un tableau de valeurs en [V] (liste de canaux d'après le No physique) ou éventuellement en unités physiques (MAX) qui sont immédiatement transmises et mémorisées dans le(s) convertisseur(s) de la carte jusqu'au prochain appel. C'est donc bien le programme d'application qui impose la fréquence d'échantillonnage (peu stable).

Les autres paramètres (optionnels) permettent de choisir la gamme (unipolaire / bipolaire), ainsi que le choix de la tension de référence (interne / externe).

2.3.5.2 – Génération de signaux

Lorsqu'on veut synthétiser un signal répétitif, la fréquence d'échantillonnage dépasse rapidement les possibilités du programme d'application, on a alors recours à un tampon que l'on remplit avec la suite des échantillons à générer, et qui sera relu, une seule fois ou cycliquement, par DMA. A nouveau on fait appel ici à des fonctions de configuration des canaux, d'écriture dans le tampon, de démarrage, d'attente de la fin du tampon et d'arrêt.

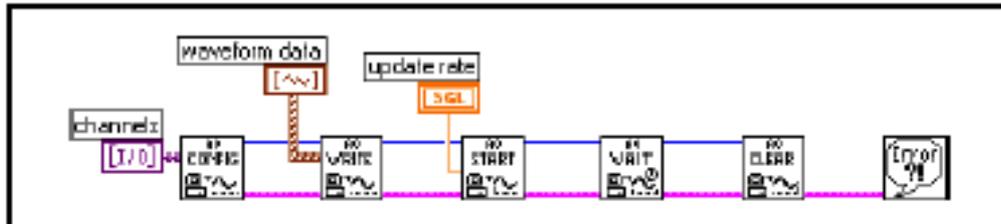


Figure 2.21 – Génération répétitive d'un tableau d'échantillons

Pour des signaux très complexes ou très long, on peut également prévoir l'écriture par demi tampons en cours de génération.

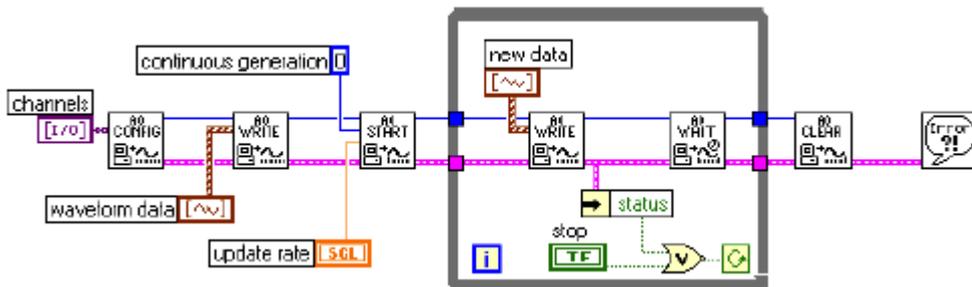


Figure 2.22 – Génération continue par tampon circulaire

2.3.5.3 Acquisition et génération simultanée

Sur les cartes possédant suffisamment de compteurs (horloges), et de canaux DMA, il est également possible de prévoir simultanément la génération d'un signal d'excitation de l'objet à essayer, et la mesure des différents signaux de réponse à cette excitation. Typiquement le signal à générer est préalablement chargé dans le tampon de génération, et les canaux de mesures sont configurés. Ensuite on démarre la génération cyclique du signal, puis le début des mesures.

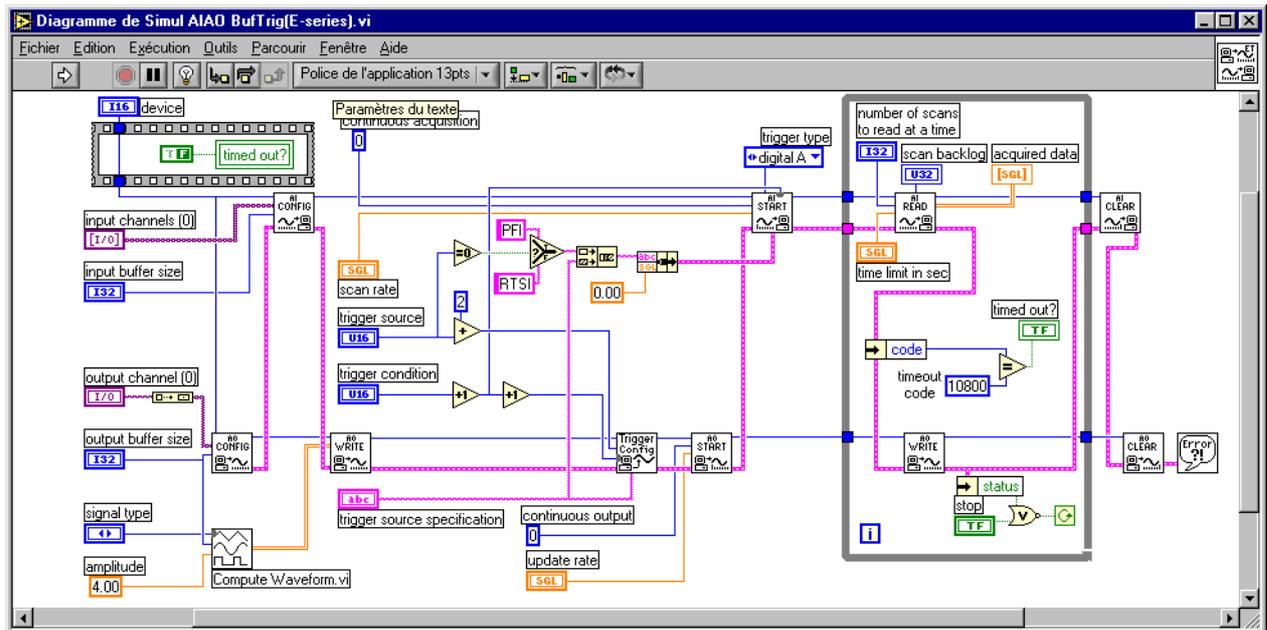


Figure 2.23 –Génération et mesure simultanées

Les limitations liées aux cartes d'acquisition sont de deux ordres : d'une part le nombre de canaux est faible et la précision de mesure reste limitée par la résolution (en standard 12 ou 16 bits), d'autre part la fiabilité du système d'opération du PC (s'occupant de nombre d'autres tâches, en particulier les communications réseau !!) peut compromettre le bon fonctionnement de l'acquisition. Séparer les fonctions d'acquisition et d'interface utilisateur, voir répartir l'acquisition, permet de résoudre ces difficultés, soit en utilisant un châssis séparé d'acquisition, soit en répartissant l'acquisition au moyen d'un bus d'instrumentation ou par un bus de terrain.

2.3.6 - Interface et châssis d'expansion

Ici l'acquisition se fait dans un boîtier séparé, les données étant transmises entre le processeur et le système au travers d'une carte d'interface et d'un câble adéquat (spécialisé ou selon une norme de communication, par exemple USB, Firewire, GPIB, ou VXI).

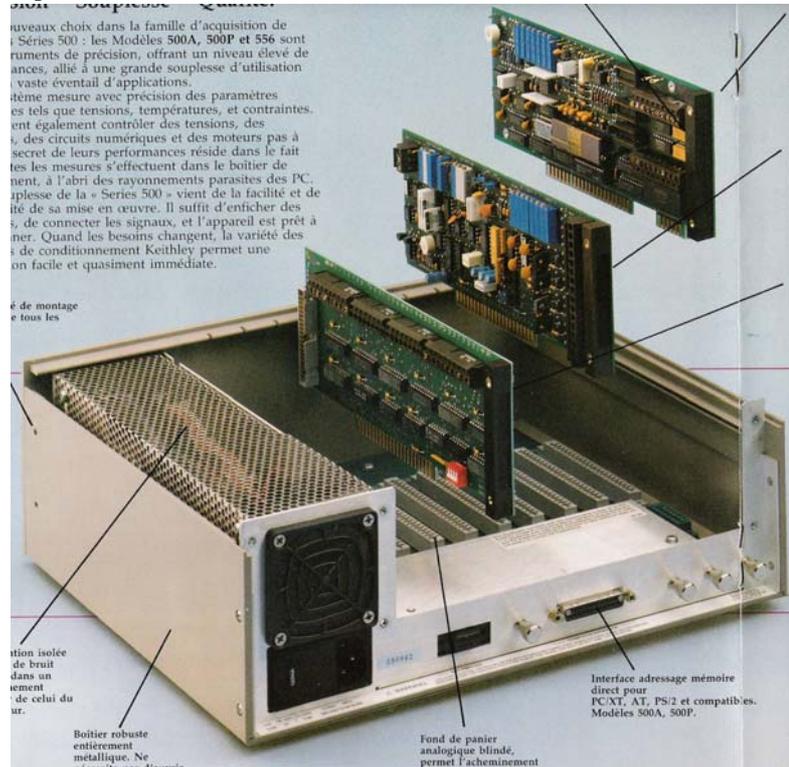


Figure 2.24 - Interface et châssis d'expansion (Keithley)

Destiné aux mêmes applications que la carte d'acquisition, ce type de solution est évidemment plus cher, mais permet de meilleures performances dans la majorité des cas. En effet, dans le boîtier d'acquisition, aucune contrainte liée au processeur n'est imposée si bien qu'on peut beaucoup mieux séparer signaux analogiques et digitaux, et ainsi parvenir à des niveaux de bruit nettement plus favorables. De plus on y trouve généralement un module multimètre de mesure (AC et DC), dont les possibilités de réduction de bruit sont de loin supérieures aux simples convertisseurs A/D (mais plus lent).

On peut ici distinguer deux catégories: les boîtiers entièrement contrôlés par le processeur, et les boîtiers "intelligents" disposant de leur propre microprocesseur.

Les premiers permettent une excellente séparation entre les signaux analogiques et digitaux, mais mobilisent constamment le processeur. Les seconds peuvent exécuter des tâches complètes d'acquisition sans intervention du processeur, ils ne lui communiquent que les résultats. Le fait de disposer d'un microprocesseur permet d'incorporer au système toute une série de routines (linéarisation, comparaison avec des limites, moyennage...) simplifiant d'autant la programmation par l'utilisateur. A performances égales le choix dépendra

essentiellement de la réponse aux questions: Que se passe-t-il, et que peut-on tolérer en cas de panne du processeur ? Quel investissement représente la programmation ?

Le nombre de canaux de mesures et de contrôle ne pose plus de problèmes: même si la capacité du boîtier doit être dépassée, il suffit de rajouter un second boîtier, commandé à partir du même interface. En règle générale le premier boîtier sert de maître pour le contrôle des suivants. Ces derniers ont uniquement pour tâche d'assurer la commutation, éventuellement la préamplification des signaux. Par conséquent la distance entre deux boîtiers doit rester courte et les entrées sorties numériques doivent toutes être implantées dans le boîtier maître. Il en résulte, pour de gros systèmes, des coûts de câblage qui peuvent aller jusqu'à doubler le prix d'achat ! Une autre solution, moins fréquente, consiste en une liaison de communication entre le processeur et les différents boîtiers qui sont alors tous identiques. Dans ce cas là, on peut répartir les différents boîtiers à proximité des capteurs donc fortement diminuer les coûts de câblage.

En résumé on peut donc caractériser cette structure:

- Excellentes performances (vitesse et précision)
- Bien adapté aux moyen et grand systèmes
- Effort de programmation moyen à élevé

2.3.7 - Bus d'instrumentation

Dans une telle structure, le processeur communique avec l'ensemble des chaînes de mesure ou d'action au travers d'un bus numérique externe, ce qui permet de répartir l'instrumentation à proximité des points de mesure, et d'exploiter des appareils "intelligents" effectuant une bonne partie du traitement du signal (capteur compensé, analyseur de spectre, synthétiseur de signaux ...)

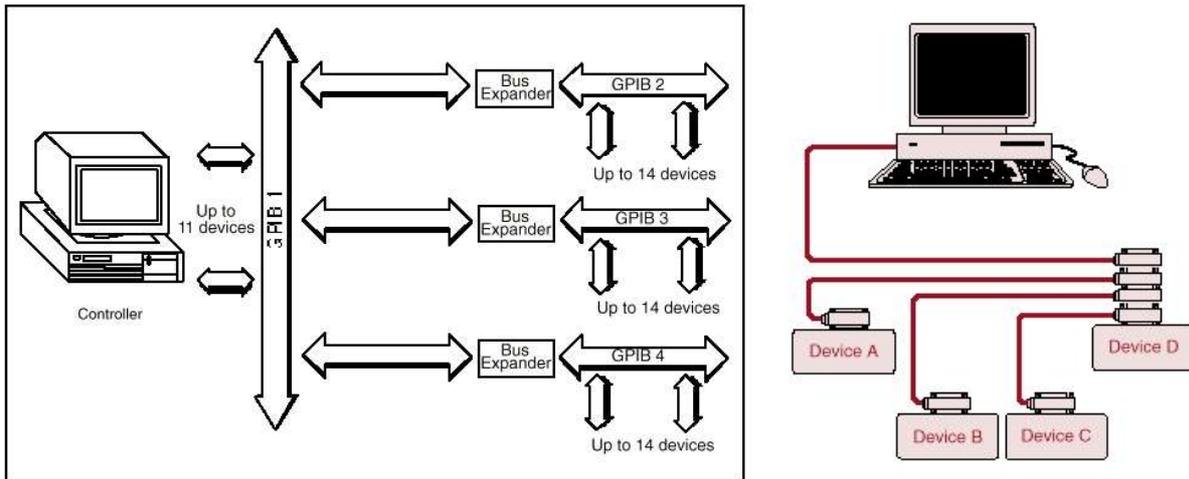


Figure 2.25 - Bus d'instrumentation

Ce type de réalisation est souvent désigné par **système d'instrumentation**. Remarquons en passant qu'on peut fort bien relier à ce bus d'instrumentation un boîtier intelligent d'acquisition de la catégorie précédente.

Le processeur est désigné sous le terme de "Contrôleur" car il a pour but de contrôler les différents appareils reliés au bus: sélection du mode de fonctionnement, lecture des résultats, arbitrage des priorités, déclenchement des processus etc. Une seule carte d'interface est, en principe, nécessaire pour le relier à l'ensemble des appareils par un bus d'instrumentation. Le câblage de l'installation en est grandement simplifié, puisque tous les appareils utilisent le même câble, et qu'il ne faut qu'un seul accès au "contrôleur".

Actuellement les systèmes d'instrumentation sont bâtis autour de deux types de bus normalisés: le bus GPIB et le bus VXI. Le premier de ces bus, développé par Hewlett-Packard se retrouve sous toute une série de dénominations :

- GPIB : General Purpose Interface Bus
- HPIB : Hewlett Packard Interface Bus
- IEEE-488 : Norme américaine basée sur HPIB
- IEC-625 : Norme internationale basée sur IEEE 488

On trouvera une introduction succincte sur ce bus et son utilisation dans un langage haut niveau (Turbo-Pascal) dans *M. Gouet - Mesure et Contrôle sur PC - Masson 1993* et dans *G. Bastide et J-R. Vellas - Mise en oeuvre du bus IEEE 488- édiTests 1984*, disponibles à la bibliothèque. Ce bus permet de relier un maximum de 15 appareils, avec une longueur de câble inférieure à 20 mètres. La vitesse de transfert est de 400 kbyte/s à plus de 1 Mbytes/s selon les options de construction. L'avantage d'une telle normalisation est qu'une quantité croissante d'instruments de différents fabricants sont disponibles et permettent de satisfaire pratiquement toutes les conditions d'essai.

Le bus VXI permet de dépasser les limitations du bus GPIB pour les grands systèmes de test: il est réalisé dans un châssis spécifique, et les instruments (de même complexité que ceux d'un bus d'instrumentation habituel) sont réalisés sous forme de tiroirs à insérer dans le châssis. Ceci permet d'augmenter le nombre d'appareils et d'utiliser 16 ou 32 bits de données, donc d'augmenter la vitesse de transfert.

En résumé, un système d'instrumentation présente les avantages suivants :

- Très grande souplesse d'adaptation
- Grand choix dans les fonctions disponibles
- Utilisable pour de très petits systèmes comme pour de très grands

Les inconvénients en sont:

- Nécessité de comprendre un nouveau protocole
- Parfois incompatibilité entre appareils du fait que la norme ne spécifie que l'interface et non les codage des messages. Ce problème est en passe de se résoudre, de nouvelles normes étant apparues pour imposer la manière de coder les messages (IEEE 488-2 et SCPI = Standard Commands for Programmable Instruments).

2.3.8 - Bus de terrain (Field-Bus)

Les avantages d'une communication par bus numérique normalisé a conduit à l'apparition de toute une série de bus dits de "terrain", dont le but premier était de permettre la liaison directe d'un réseau de capteurs "intelligents" dans un milieu industriel (automobile, ou halle de production robotisée). Ici l'objectif est d'une part la simplification du câblage, d'autre part de garantir certaines contraintes de temps réel (accès à une information donnée dans un délai précis), alors que l'information à transmettre est très courte (tout ou rien, ou quelques bits seulement). La concurrence entre les protocoles a conduit à une extension de la majorité de ces bus à la possibilité de relier des sous-stations d'entrées-sorties déportées, voire même à une concurrence directe au bus d'instrumentation.

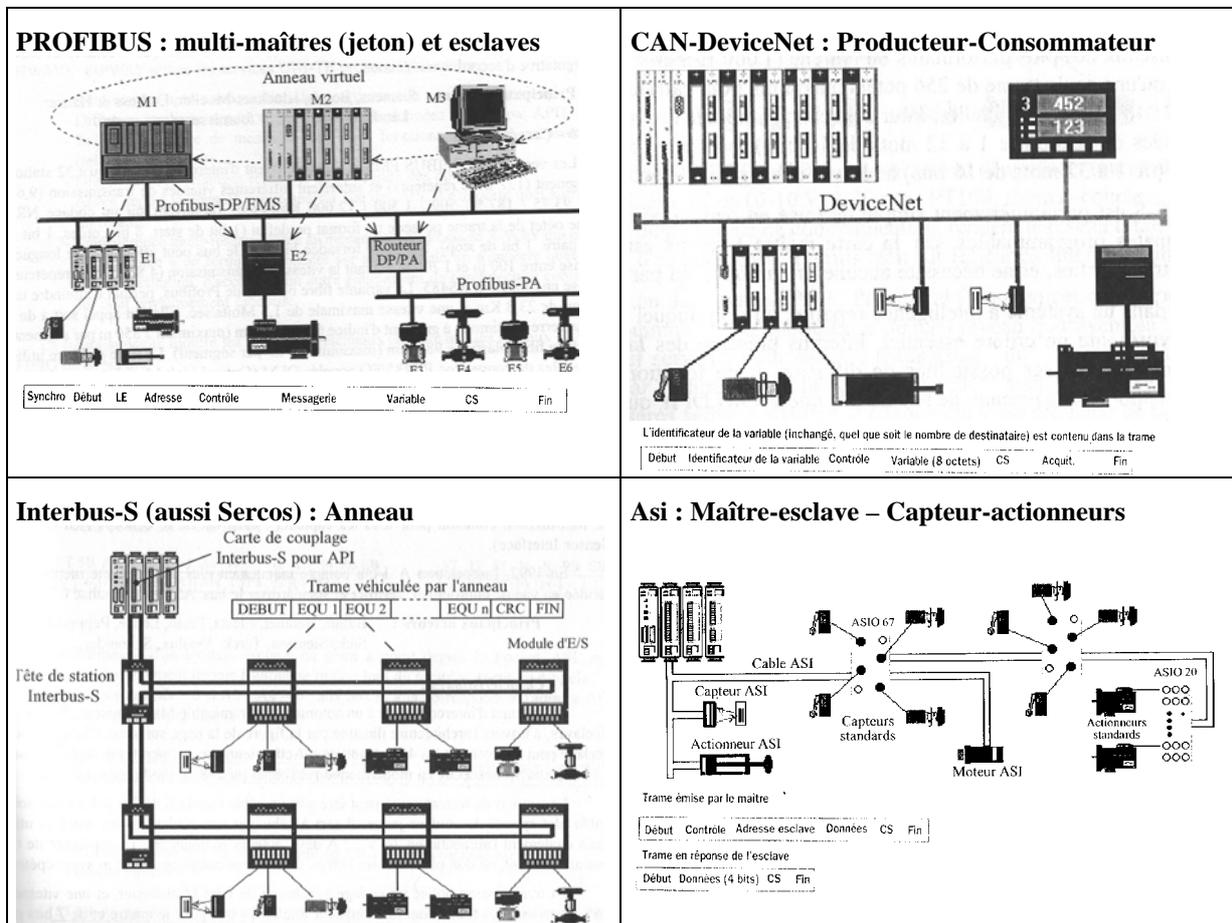


Figure 2.26 – Quatre exemples de bus de terrain

2.4 - Logiciel

L'importance du logiciel est primordiale dans un système d'acquisition: Rien ne sert d'acheter un système sophistiqué s'il faut consacrer des années à développer le programme d'application. Trois options principales peuvent être choisies selon les besoins de l'utilisateur: - • Développement complet du logiciel au moyen d'un langage structuré de haut niveau et d'un driver permettant d'accéder au matériel - • Utilisation d'un logiciel de développement d'application, généralement réalisé sous forme de menus de dialogue interactif (vérification immédiate de la logique des opérations), et permettant d'obtenir un programme exécutable ou enfin - • achat d'un programme d'application dédié pour autant qu'on en trouve un qui corresponde au cahier des charges.

2.4.1 - Pilote et langage de haut niveau

Tous les fabricants livrent avec leur matériel un pilote (driver), qui est une collection de fonctions, appelables depuis le langage de haut niveau (C++, Visual-Basic ...) permettant la gestion du matériel. Encore trop souvent, ces pilotes ne permettent pas d'exploiter pleinement les possibilités du matériel, mais se limitent aux fonctions les plus simples. La tendance est cependant d'inclure des fonctions de gestion de blocs de données (par DMA =accès direct en mémoire sans passer par l'unité centrale, ou par interruption) ou de traitement numérique des valeurs (mise à l'échelle, linéarisation etc) simplifiant du même coup l'écriture du programme principal. Le choix d'un matériel ne doit donc pas se faire uniquement sur la base des spécifications de performance, mais largement tenir compte des possibilités du pilote.

Cette solution exige un gros effort de programmation, mais permet une exploitation optimale du matériel.

2.4.2 - Générateurs d'application

Il s'agit en fait de langages de haut niveau spécialisés dans l'acquisition, le traitement et la représentation des données. Ils utilisent les pilotes des fabricants et libère l'utilisateur de toute une série de tâches répétitives par des instructions orientées sur l'acquisition (par exemple acquisition d'un bloc de données, transformation de Fourier, optimisation de paramètres, analyse statistique, représentation graphique...). On peut distinguer actuellement deux tendances :

Langage graphique par exemple LabVIEW ou HP-VEE ou Visual-Designer. La programmation se fait sous forme graphique à l'écran, chaque tâche d'acquisition étant représentée par un icône, la succession des opérations dépendant des liaisons entre les icônes (plus quelques structures de base : boucles, choix conditionnels ...). L'interface utilisateur, dans l'application se fait sous forme d'un panneau fictif d'appareil, représenté à l'écran et actionné par la souris. Ici aussi on peut exécuter en interactif tout ou partie du

programme, ce qui permet un développement aisé. Par contre il n'est plus nécessaire de changer d'environnement (éditeur, compilateur) pour l'écriture proprement dite du programme.

Menus interactifs

par exemple LabWINDOW ou TestPoint. Ici l'opérateur choisit les opérations à effectuer en répondant à une suite de menus sur l'écran (initialisation du système, acquisition proprement dite, traitement numérique, stockage sur fichier, représentation graphique). Chaque réponse à une question ou à un groupe de questions du menu génère une séquence de programme, exécutée immédiatement (interactif), et pouvant être mémorisée pour une réutilisation ultérieure. D'un emploi plus simple que les deux solutions précédentes, ce type de logiciel est forcément limité aux cas prévus dans les menus. De plus les possibilités de structure de programmation sont nettement réduites.

Ces solutions ont l'avantage d'être orientées vers l'acquisition de donnée et d'éviter la programmation proprement dite pour ne se concentrer que sur les conditions d'acquisition, mais elles exigent un compromis entre les possibilités (fortes pour les langages, faibles pour les menus) et la nécessité d'un apprentissage plus ou moins long.