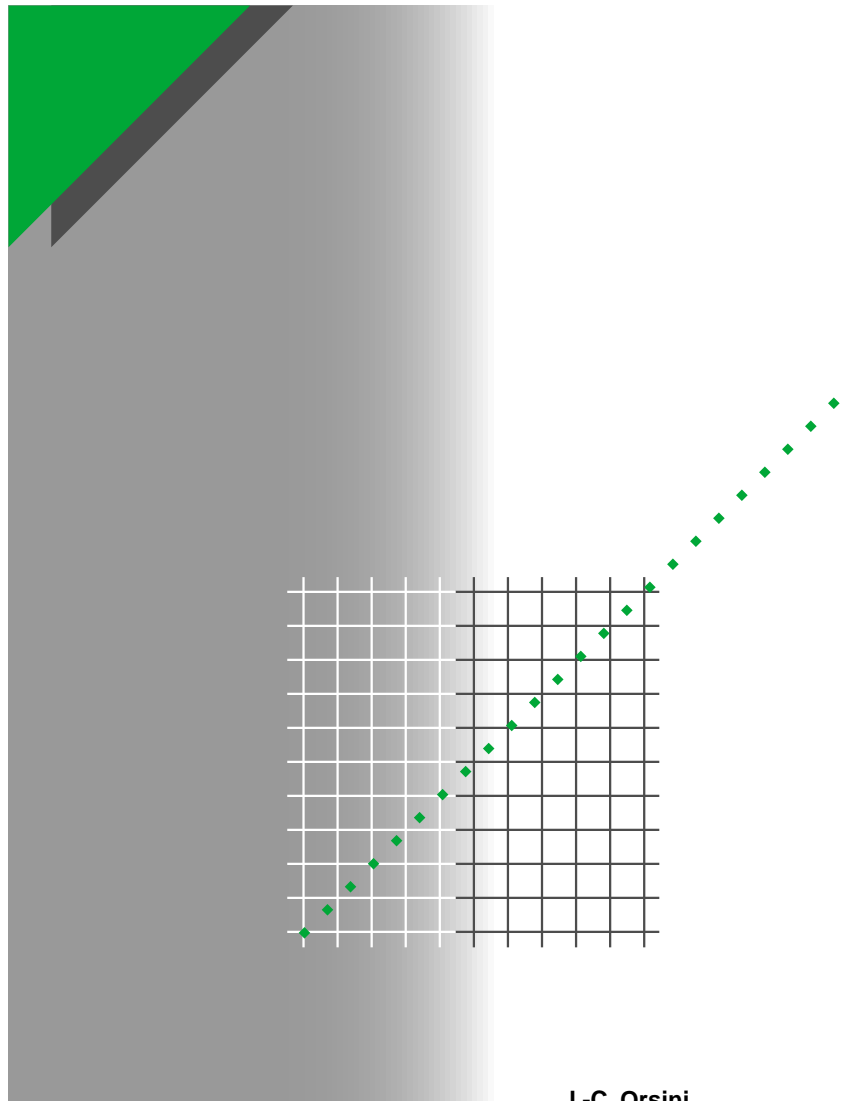


# Cahier technique n° 197

## Bus de terrain : une approche utilisateur



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

J.-C. Orsini

Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider Electric.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **Le rendez-vous des experts**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider Electric.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » de Schneider Electric.

### **Avertissement**

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée après accord de la Direction Scientifique et Technique, avec la mention obligatoire : « Extrait du Cahier Technique Schneider Electric n° (à préciser) ».

# n° 197

## Bus de terrain : une approche utilisateur

---



**Jean-Christophe ORSINI**

Diplômé de l'Institut National des Télécommunications en 1987, entré dans l'activité automatismes de Schneider Electric en 1988, il a participé au développement de plusieurs coupleurs de communication des automates Schneider Electric sur différents réseaux. Depuis quatre ans, il œuvre à l'élargissement de la connectivité des automates Schneider Electric.

---

## Lexique

---

**AS-i** : **Actuator Sensor Interface**. Norme de bus de terrain de niveau 0 (ou bus de capteur et actionneur).

**ASIC** : **Application Specific Integrated Circuit**. Circuit intégré – composant électronique – dédié à une application spécifique – par exemple la gestion d'un protocole de communication – par opposition à un circuit généraliste, comme un microprocesseur.

**Bande passante** : Mesure la largeur de la plage de fréquences dans laquelle les signaux sont transmis avec une atténuation inférieure à trois décibels. Par abus de langage, désigne le débit maximum utile du médium.

**CAN** : **Controller Area Network**. Famille de réseaux utilisés massivement dans l'industrie automobile, permettant une connexion à faible coût.

**C.I.M.** : **Computer Integrated Manufacturing**. Concept d'unités de production informatisées. Il définit la hiérarchie des équipements et réseaux utilisés, depuis les ordinateurs de gestion connectés sur les réseaux publics jusqu'aux capteurs et actionneurs connectés aux bus de terrain.

**Coupleur, ou interface de communication** : Electronique permettant le raccordement d'un équipement à un réseau.

**Device Net** : Bus de terrain basé sur la technologie CAN.

**Équipement** : Désigne dans ce document tout produit d'automatisme raccordé au bus : automate, variateur de vitesse, distributeur pneumatique, robot, interface homme/machine, etc.

**Ethernet** : Norme de réseau basée sur le principe d'accès au médium CSMA/CD.

**FIP / WorldFIP** : (**F**actory **I**nstrumentation **P**rotocol) : bus de terrain couvrant les niveaux 1 et 2 (norme européenne EN 50-170).

**IB-S** : Abréviation pour Interbus-S.

**Interbus-S** : Norme de bus de terrain de niveaux 0 et 1.

**Java** : Langage informatique orienté objet.

**LAN** : **Local Area Network** = réseau local.

**Médium** : Support physique de la communication (paire torsadée, câble coaxial, fibre optique).

**Message** : Information échangée sur un réseau au travers de services définis dans un protocole de messagerie : lecture, écriture, téléchargement de zones mémoires, fichiers, etc.

**Objet d'automatisme** : Représentation modélisée et structurée décrivant les fonctions, les services offerts et le comportement d'un automatisme.

**Protocole** : Relatif à une couche ISO, il désigne les règles de dialogue entre mêmes couches des entités communicantes.

**Profibus** : Bus de terrain inclus dans la norme européenne EN 50-170, couvrant les niveaux 1 et 2.

**Réseau d'entreprise** : Réseau local utilisé dans les applications de bureautique et de gestion.

**Réseau local** : Réseau limité à une zone ne dépassant pas quelques kilomètres ; en général, il s'agit de réseaux restreints à un bâtiment ou une entreprise, c'est-à-dire restant dans un domaine privé et ne traversant pas le domaine public. Par opposition, on parle de WAN (Wide Area Network) pour les réseaux comme le Réseau Téléphonique Commuté ou le réseau Internet.

**RLI** : abréviation pour Réseau Local Industriel.

**Réseau Local Industriel** : Réseau local utilisé dans un environnement industriel (production...).

**TCP/IP** : (**T**ransport **C**ontrol **P**rotocol / **I**nternet **P**rotocol) : Standard de fait popularisé par les réseaux Ethernet et Internet, couvrant les couches ISO 4 (TCP) et 3 (IP).

**Services** : Règles de dialogue entre deux couches adjacentes. Par exemple, service d'adressage offert par la couche 3 réseau à la couche 4 transport.

**Trame** : Suite de bits ou caractères émis de façon ininterrompue par un équipement sur le réseau et dont l'ensemble constitue une information cohérente interprétable par le ou les destinataires (messages, questions ou réponses, diffusion d'une valeur...). La longueur (i.e. le nombre de bits ou caractères) des trames est toujours limitée.

**Variable** : Information structurée, caractéristique d'un process, véhiculée sur un réseau (vitesse d'un moteur, position d'un mobile, etc.).

**WAN** : **Wide Area Network**. Par opposition aux LAN, réseau couvrant une large zone, en général réseau public : Réseau Téléphonique Commuté, Internet... A noter : depuis quelques années, on parle aussi de MAN (Metropolitan Area Network) ; il s'agit de réseaux rapides couvrant quelques dizaines, voire centaines de kilomètres (des zones métropolitaines).

# Bus de terrain : une approche utilisateur

Ces dernières années, les technologies réseau de type « bus de terrain » sont apparues pour remplacer le câblage traditionnel des entrées / sorties des automates programmables industriels. En conséquence, les architectures d'automatismes ont profondément évolué. C'est par une approche utilisateur que ce Cahier Technique aborde les bus de terrain dans l'industrie manufacturière. En plus des critères de coût et de performances, il attire l'attention des prescripteurs et réalisateurs sur l'importance des besoins d'interopérabilité et de pérennité.

La lecture de ce document pourra être précédée de celle du Cahier Technique n°147 : « Initiation aux réseaux de communication numériques ».

## Sommaire

<b>1 Introduction</b>	1.1 Historique	<b>p. 4</b>
	1.2 Evolution actuelle	p. 4
	1.3 Evaluation d'un bus de terrain	p. 8
<b>2 La performance au meilleur coût</b>	2.1 Le coût	<b>p. 9</b>
	2.2 La performance	p. 11
	2.3 Optimisation coût-performance	p. 14
<b>3 L'interopérabilité</b>	3.1 Définitions	<b>p. 18</b>
	3.2 Quelles garanties de fonctionnement ?	p. 19
<b>4 La pérennité</b>	4.1 Enjeux	<b>p. 22</b>
	4.2 Tendances	p. 22
	4.3 Garanties de pérennité	p. 24
<b>5 Conclusion</b>		<b>p. 25</b>
<b>Annexes</b>		<b>p. 26</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>p. 30</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Historique

Il est intéressant, pour commencer, de replacer l'émergence des bus de terrain dans la jeune histoire des automatismes programmables :

### Apparition de l'automate

Dans les années 60, le coût de l'électronique descend à un niveau lui permettant de remplacer avantageusement la logique câblée à relais. Des modules de logique câblée à transistor apparaissent, comme le MOG de Merlin Gerin et le Téléstatique 1 de Telemecanique. Très simples à assembler, ils séduisent les automatismes. En 1965, le transistor au germanium est remplacé par le silicium et donne naissance au SILIMOG. Il sera plébiscité par les clients jusque dans les années 1980.

En 1968, Modicon invente le concept d'automate programmable. Un matériel unique répond à une grande multiplicité de besoins et apporte une économie d'échelle. De sa grande souplesse d'utilisation découlent de nombreux gains dans toutes les phases de vie de l'installation.

Les réseaux apparaissent également peu à peu, d'abord sous forme de liaisons séries. Des protocoles viennent formaliser les échanges. Ainsi Modbus (1979), contraction de MODicon BUS, devenu depuis un standard de fait.

Mais ils se limitent aux cas où le câblage tout ou rien ne suffit pas :

- liaisons inter-automates,
- liaisons avec les calculateurs,
- supervision,
- connexion des consoles de programmation...

### Apparition des bus de terrain

La réduction des coûts de l'électronique se poursuivant – en particulier grâce à l'utilisation d'ASICs dans les produits – les techniques réseaux (cf. CT 147) deviennent avantageuses par rapport aux liaisons en fil-à-fil pour relier les entrées / sorties à l'automate :

Ce sont les bus de terrain (cf. [fig. 1](#)).

Ainsi observe-t-on par exemple l'émergence de normes comme WorldFIP et Profibus ou encore du réseau Modbus Plus :

En 1993, Telemecanique commercialise une première offre industrielle complète basée sur la norme WorldFip pour le déport des entrées / sorties automates (FIPIO) et la synchronisation inter-automates (FIPWAY). Siemens propose une offre similaire basée sur la norme Profibus. À cette même période, Modicon commercialise le réseau Modbus Plus, véritable fédérateur d'équipements.

## 1.2 Evolution actuelle

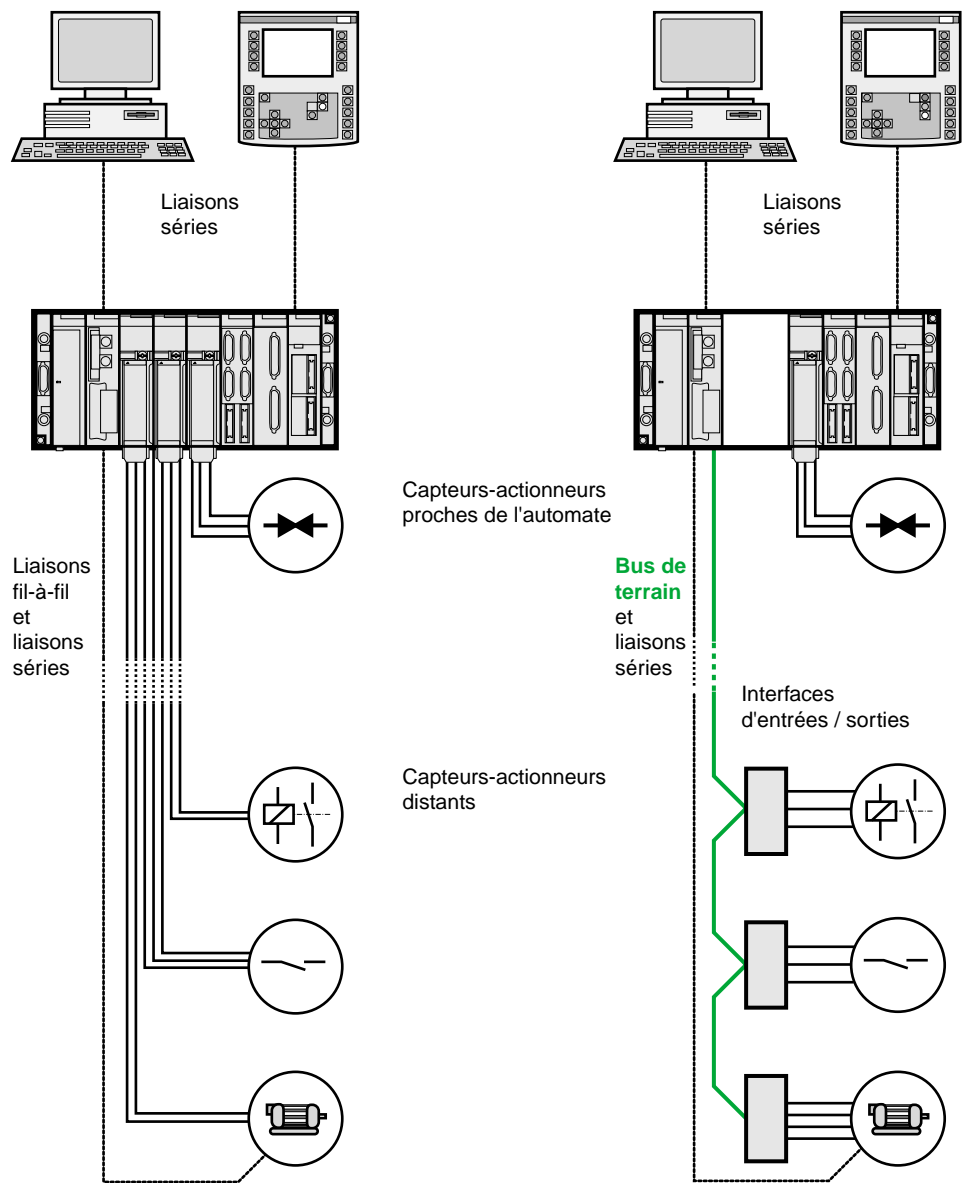
Depuis quelques années, de nombreuses applications ont adopté le bus de terrain. Cette épine dorsale de l'architecture d'automatisme apparaît comme un moyen extrêmement puissant d'échanges, de visibilité et de souplesse pour les équipements y participant. Le bus de terrain conduit à un bouleversement progressif des architectures :

- suppression des câbles d'entrées / sorties,

- disparition des interfaces d'entrées / sorties,
- disparition des liaisons séries dédiées.

Au-delà de ces aspects architecturaux, deux autres points sont à souligner :

- la décentralisation et la répartition de l'intelligence,
- l'arrivée des Nouvelles Technologies (Internet...)



**Fig. 1** : connexion des interfaces d'entrées / sorties.

### Suppression des câbles d'Entrées / Sorties

C'est dans un premier temps en sortant les interfaces d'Entrées / Sorties des automates pour les placer au plus près des capteurs et actionneurs que des gains ont été obtenus sur les coûts de câblage (cf. fig. 1).

### Disparition des interfaces d'Entrées / Sorties

Mais, une fois cette étape franchie, les utilisateurs ont bientôt compris l'intérêt de voir les capteurs et actionneurs eux-mêmes directement connectés au bus. Celui-ci est utilisé comme moyen d'interconnexions des équipements. Cela est en particulier vrai pour des équipements hétérogènes par leur origine mais aussi par leur type, comme :

- distributeurs pneumatiques,
- variateurs de vitesses et équipements de contrôle d'axes,
- machines de soudage ou de vissage,
- dispositifs d'identification divers,
- interfaces Homme-machine,
- équipements spécifiques à un métier,
- pesage,
- vision...

Parfois, même, cette capacité de connexion justifie l'utilisation d'un bus de terrain même pour de faibles distances par la souplesse et l'évolutivité qu'elle permet (cf. fig. 2).

En effet :

- certains de ces équipements (varianteurs de vitesse, machines de vissage...) nécessitaient simultanément une liaison par Entrées / Sorties TOR et une liaison série avec l'automate : le bus de terrain remplace les deux.
- L'utilisation en environnement étanche de certains autres rendaient leur câblage traditionnel particulièrement coûteux.
- Des bus du type AS-i offrent des solutions plus économiques que le câblage traditionnel pour la connexion des capteurs et actionneurs les plus simples (mais aussi les plus nombreux) – boutons poussoirs, colonnes lumineuses, démarrages moteur etc. – y compris sur de courtes distances.

L'installation devient une sorte de jeu de construction autour du câble réseau. Celui-ci devient le standard de câblage à la place des liaisons fil-à-fil en 0-24 V ou 4-20 mA.

De plus, cette évolution rend accessible en tout point de l'installation une foison d'informations de diagnostic détaillées sur les capteurs et actionneurs.

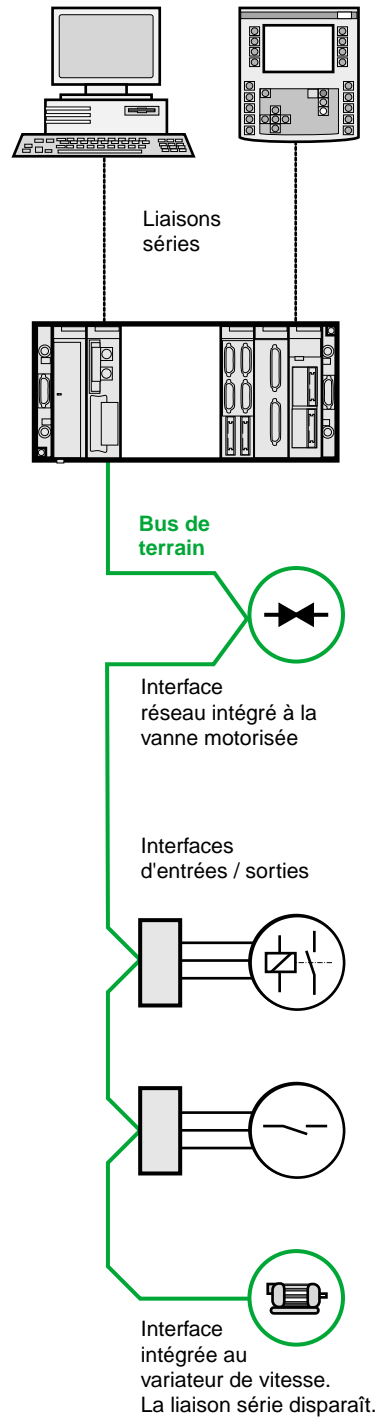


Fig. 2 : disparition des interfaces d'entrées / sorties.



### Disparition des liaisons série dédiées

Le véritable canal de communication ainsi créé permet de véhiculer des quantités d'informations beaucoup plus importantes. Cela conduit les utilisateurs à l'exploiter pour des fonctions qui utilisaient auparavant des moyens de communication dédiés :

- paramétrages,
- outils de diagnostics,
- chargements de programmes,
- dialogue opérateur, etc.

Par exemple, la liaison série dédiée utilisée antérieurement par le dialogue opérateur est supprimée au profit du bus de terrain. Ce canal lui donne accès en tout point de l'installation, non plus seulement aux données de l'automate, mais aussi à celles de tout équipement raccordé : micro-automate, etc. (cf. **fig. 3**). Ceci, bien sûr, est limité par les performances du bus considéré : un seul type de réseau ne saurait satisfaire tous les besoins.

### Décentralisation et répartition de l'intelligence

Au-delà de ces évolutions d'architecture, le bus de terrain ouvre la voie à la décentralisation, ou même la répartition de l'intelligence (voir l'exposé de ces notions dans le Cahier Technique n° 186, § 3.1) :

- La décentralisation de l'intelligence permet :
  - Une plus grande modularité de la conception. Le spécialiste peut traiter son domaine et offrir une interface au concepteur de l'ensemble. Cette modularité est un atout pour la qualité de la réalisation et donc la maîtrise des coûts de développement.
  - Une meilleure réactivité de l'automatisme grâce à l'utilisation de nano/pico-automates au plus près du procédé.
  - Une plus grande robustesse vis-à-vis des défaillances. Des fonctionnalités dégradées peuvent être prévues localement lors de certaines pannes.
- La répartition de l'intelligence dans différents équipements permet d'améliorer les performances en laissant à chaque équipement d'automatisme le soin d'effectuer la partie des traitements pour laquelle il est le plus performant. Elle favorise les possibilités de réutilisation des modules matériels et logiciels. Elle peut aller jusqu'à la disparition de toute unité de traitement centralisée, mais reste aujourd'hui freinée par la complexité des mécanismes à mettre en œuvre.

### Nouvelles technologies

De nos jours, les technologies Internet, de par leur grande diffusion, bouleversent le paysage de l'informatique. Cette vague de fond atteint les automatismes, déclenche des convoitises et des surenchères, avec des perspectives en cours d'exploration, autour de CORBA, JAVA, ACTIVE X...

Au niveau des réseaux, une bipolarisation se profile : d'une part la descente d'Ethernet vers les bus de terrain, d'autre part la consolidation des positions de quelques bus de niveau 0, comme AS-i. L'intrusion de composants réseaux de grande diffusion, est aussi à signaler (exemple : CAN, issu de l'industrie automobile).

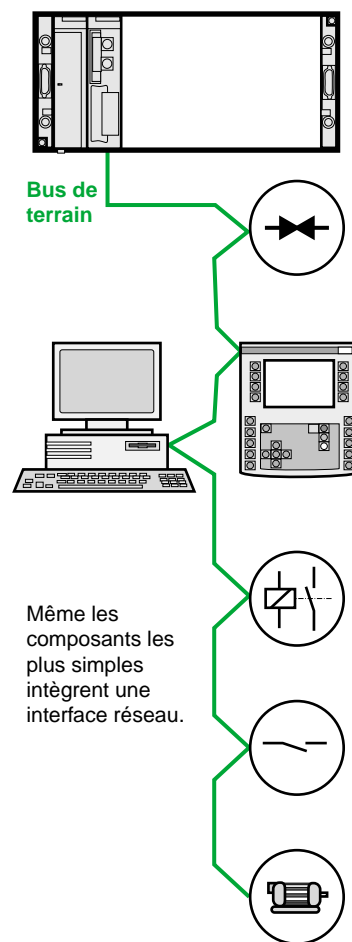


Fig. 3 : disparition des liaisons séries dédiées.

## 1.3 Evaluation d'un bus de terrain

Mais comment l'utilisateur doit-il gérer cette évolution technologique ? Comment déterminer ce qu'elle peut apporter et en tenir compte dans le choix de produits d'automatisme ?

Par une analyse des besoins et contraintes, ce document apporte une plus grande autonomie à l'utilisateur dans son évaluation.

Les questions que se pose l'automaticien vis-à-vis d'une application, et qu'il doit reporter sur les bus de terrain tournent autour de quatre thèmes :

- le coût,
- la performance,
- l'interopérabilité,
- la pérennité.

### Le coût

C'est en tout premier lieu la possibilité d'un gain de coût qui a conduit à l'émergence des bus de terrain. La toute première question à laquelle l'automaticien doit répondre est donc celle-ci :

« L'utilisation d'un bus de terrain dans mon application sera-t-elle économiquement avantageuse ? »

### La performance

Il s'agit avant tout d'une contrainte :

« Si je détermine que tel bus est économiquement avantageux, comment m'assurer que ses performances satisfont aux exigences de mon application ? »

### L'interopérabilité

Dès lors que la conclusion de l'analyse des critères précédents est favorable, il convient de s'assurer que les différents produits d'automatisme requis dans l'application sont effectivement en mesure de fonctionner ensemble selon les besoins propres à cette application : quelle garantie avoir avant l'acquisition et l'essai du matériel ?

### La pérennité

Enfin, une fois validé l'intérêt et la faisabilité de la mise en œuvre du bus de terrain, il convient de ne pas oublier la pérennité requise pour ce type d'installation : la rentabilité des investissements nécessite une certaine prudence vis-à-vis des nouvelles technologies. Si les technologies de type bus de terrain sont aujourd'hui bien établies, leur multiplicité ne permet pas toujours de garantir la pérennité des investissements qu'elles entraînent.

Les deux premiers critères, coût et performances, relèvent d'une analyse technico-économique des technologies de bus de terrain. Les deux suivants, interopérabilité et pérennité, relèvent plutôt de la confiance de l'utilisateur : analyse du marché, stratégie des constructeurs, attitude de ceux-ci vis-à-vis des normes... sont à prendre en compte.

Bien sûr, la pénétration du marché par un standard reste le meilleur gage de confiance.

## 2 La performance au meilleur coût

### 2.1 Le coût

Dans l'analyse de l'impact en termes de coût d'un bus de terrain, il est important de prendre en compte chaque étape de la vie d'une installation automatisée, depuis sa conception jusqu'à son démantèlement.

#### Conception

La simplicité des connexions à mettre en œuvre dans le cas d'un bus de terrain (par rapport au câblage traditionnel) contribue à faire des économies sur le schéma de câblage.

La modularité de la conception (travail en parallèle de différents métiers) allège considérablement les études.

En contrepartie, l'introduction d'une nouvelle technologie et de nouveaux types de matériel ne manque pas de nécessiter des formations. A ce titre, elle est source de nouvelles dépenses. D'où l'intérêt de n'utiliser des normes ou technologies différentes que lorsque cela se justifie clairement en terme de coût ou de performance.

#### Fourniture, installation et mise en service

Des gains de coût sont obtenus lors de la mise en œuvre par :

- Réduction des coûts de câblage.
- Réduction des délais, synonyme d'économies, par :
  - réduction des travaux de câblage,
  - modularité des tests,
  - paramétrages, réglages, téléchargements facilités,
  - capacités de diagnostic accrues.

Dans le cas où le bus est utilisé pour remplacer des liaisons auparavant dédiées au dialogue Homme-machine, à des outils de diagnostic, programmation ou paramétrage :

- suppression de certains coupleurs de communication dédiés,
- suppression des câbles de réseaux dédiés.

Il faut, en contrepartie, tenir compte du surcoût des composants d'automatisme.

Afin de chiffrer l'impact global, l'utilisateur doit donc comparer les prix du même composant d'automatisme dans sa variante traditionnelle et

dans sa variante bus de terrain. Il ne doit pas oublier de tenir compte de l'ensemble des accessoires : câbles, connecteurs, logiciels spécifiques, coût de mise en œuvre, etc. Certaines données partielles, comme le coût d'un ASIC, sont parfois mises en avant. Une analyse aussi incomplète est à proscrire.

#### Exploitation (conduite et maintenance)

Différentes raisons facilitent la maintenance :

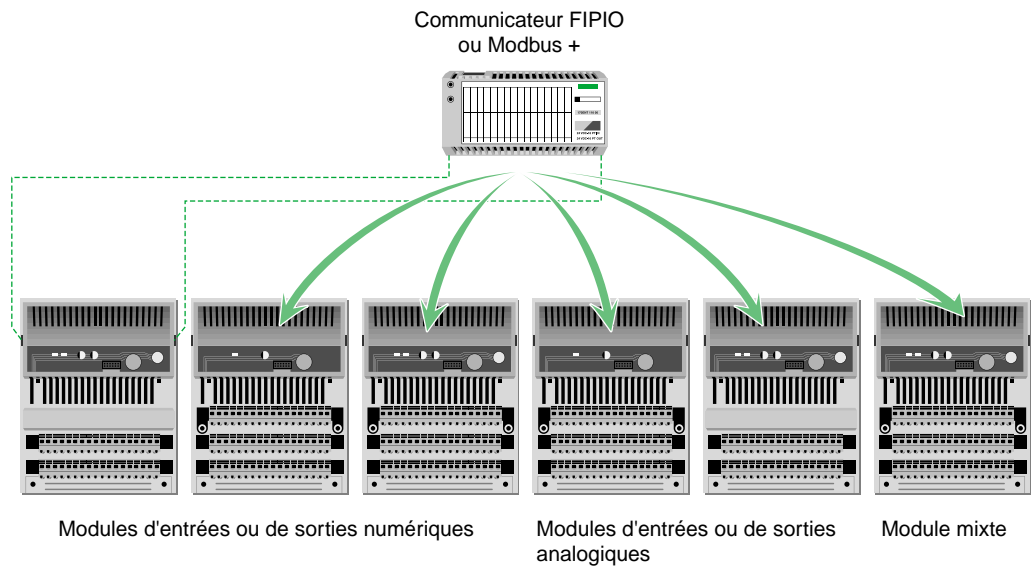
- Câblage et connexions réduits  
Les longueurs de câble et les cheminements complexes de ceux-ci, ainsi que le nombre de raccordements de toutes sortes, sources de pannes, se trouvent réduits, augmentant d'autant la fiabilité des installations. Cela est sous réserve du choix d'un bus dont l'immunité est adaptée aux perturbations électromagnétiques industrielles.

- Nouvelles capacités de diagnostic  
Même les capteurs-actionneurs les plus simples fournissent de nombreuses informations de diagnostic.

- Meilleure modularité  
La distribution de l'intelligence favorise la mise en place d'autocontrôles plus précis et améliore donc la robustesse vis-à-vis des pannes et des évolutions.

- Uniformisation des composants  
La variété des moyens d'acheminement de l'information se trouve réduite : Coupleurs communs à plusieurs produits (cf. **fig. 4** page suivante), câble et connecteurs communs à des catégories de produits différentes remplacent liaisons filaires variées, liaisons série, réseaux haut débit. Les stocks de rechange et donc les coûts de maintenance s'en trouvent réduits.

- Coût des pannes  
Les informations de diagnostic disponibles dans les produits permettent à la fois d'éviter certaines pannes et de réduire les temps de réparation. Le coût des arrêts de production liés aux pannes s'en trouve réduit. Toutefois, seuls des outils bien intégrés et une technologie mature donnent réellement accès à ces avantages.



**Fig. 4 :** un seul coupleur communicateur FIPIO pour l'ensemble des modules Schneider MOMENTUM.

### Rénovation

La mise à niveau d'une application est largement simplifiée avec un bus de terrain. Par exemple, chez un grand constructeur d'automobiles, il a été possible de changer totalement le système de câblage d'une machine entre le vendredi soir et le lundi matin, sans perte de production. Ce type d'intervention aurait été totalement impossible en câblage traditionnel.

### Démantèlement

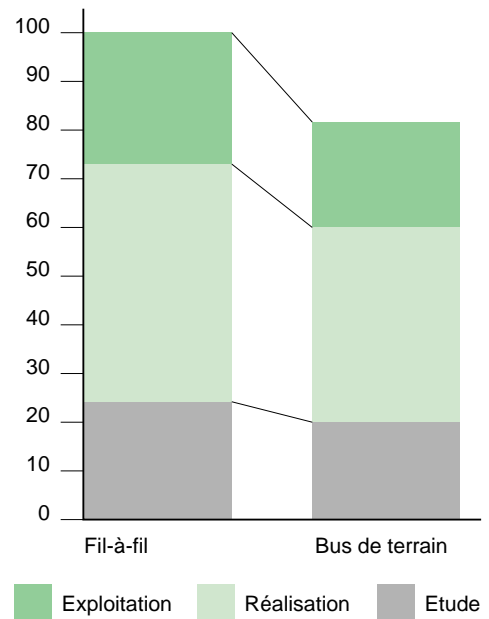
Là aussi, l'utilisation d'un bus de terrain permet de réduire des coûts :

- réduction des coûts de « décâblage »,
- meilleures possibilités de réutilisation du matériel.

Les impacts sur le coût lors des différentes phases de vie de l'installation peuvent être résumés dans le tableau de la **figure 5**.

Diverses études ont été publiées sur ce sujet, ainsi que le bilan de nombreuses applications réelles, auxquels il est possible de se reporter pour approfondir le thème du coût (voir bibliographie).

Mais l'analyse des coûts ne peut être décorrélée de celle de la performance.



**Fig. 5 :** impact sur les coûts dû à l'utilisation d'un bus.

## 2.2 La performance

### Types de contraintes

Parmi les besoins de l'utilisateur, il faut distinguer :

- Les contraintes liées à l'environnement de l'application :

- alimentation des équipements raccordés,
- nombre de capteurs-actionneurs,
- distances requises,
- perturbations électromagnétiques,
- éléments mobiles,
- contraintes topologiques,
- étanchéité,
- milieu agressif (sel, eau, acides...),
- milieu explosif, etc.

L'utilisateur doit établir une liste complète de ces contraintes, sur laquelle un constructeur doit pouvoir s'engager. Dès lors, l'évaluation d'un bus sur ces aspects ne pose pas de problème majeur car les caractéristiques de ce type sont généralement bien identifiées. Pour certaines, des normes définissent des niveaux de compatibilité auxquels chacun se réfère. Cela est en particulier vrai pour tout ce qui touche aux contraintes d'environnement.

- Les contraintes temporelles

- temps de réponse maximal, en fonction du nombre d'Entrées / Sorties.
- Débit des données nécessaire à l'application.

Les bus de terrain ont mis en exergue la nécessité des calculs de performances temporelles, déjà bien connus des constructeurs d'automates dans leurs architectures traditionnelles, basées sur des mécanismes cycliques. Cela mérite un approfondissement.

### Performances d'un bus d'automatisme

Les exigences temporelles d'un bus d'automatisme sont différentes de celles d'un réseau d'entreprise ou d'un réseau public (WAN), essentiellement sur deux aspects :

- Ordre de grandeur

Les automatismes dans l'industrie manufacturière requièrent plus souvent des délais courts (de la ms à quelques dizaines de ms) pour l'acheminement d'une information courte (binaire) que de forts débits pour le transfert de grandes quantités d'informations. Pour de gros transferts (chargements de programme...), une certaine lenteur est admise pourvu que les ordres binaires (fermeture d'une vanne...) continuent à être transmis dans les mêmes délais.

De plus, dans certains cas, des contraintes spécifiques, comme la synchronisation d'équipements, sont également requises.

- Déterminisme

Pour le bon fonctionnement d'une application d'automatisme, le transfert de certaines informations doit s'effectuer dans un délai limité. Le bus de terrain contribue à ce délai.

Pour l'affichage d'une page sur l'écran d'un PC, un délai de quelques secondes, une fois sur cent, est largement toléré. Pour la prise en compte de l'information de la cellule de sécurité d'une barrière en train de descendre sur une voiture, tel n'est pas le cas !

Le déterminisme est une propriété qui autorise le calcul théorique des temps de transfert maxima garantis sur le bus en fonction des conditions d'utilisation (nombre d'équipements...).

Des mécanismes de bus déterministes sont exposés en annexe : certains permettent de garantir ce déterminisme sur les informations critiques tout en gérant aussi des échanges moins prioritaires (dialogue Homme-machine, diagnostic...).

L'intérêt du déterminisme pour les réseaux utilisés dans les applications d'automatisme a été l'objet de nombreux débats ces dernières années.

Sans remettre en cause son importance, il ne faut toutefois pas confondre déterminisme et mécanisme de sécurité. Il faut tenir compte aussi du fait que toute application admet un taux de panne lié au matériel, à l'environnement... Ainsi, dans l'exemple proposé, que le bus soit déterministe ou non, un mécanisme de sécurité prévoit l'arrêt de la barrière en cas de coupure du médium. Le seul risque, avec un bus non déterministe, est que la barrière soit arrêtée non pas pour une coupure du médium mais en raison d'un trafic trop élevé. Pour éviter cette situation, c'est-à-dire que sa probabilité soit inférieure au taux de panne admis, il faut simplement limiter le taux de charge sur le bus non déterministe. L'utilisation de bus non déterministes est donc possible moyennant des débits plus élevés, certes facteurs de coûts plus élevés. Les évolutions techniques et les effets de volume le rendant compétitif, Ethernet, non déterministe, après avoir supplanté le bus à jeton 802.4 il y a quelques années, est aujourd'hui envisagé pour les mêmes raisons de coût au niveau des bus de terrain.

### Critères d'évaluation

#### ■ Que calculer ?

L'utilisateur est souvent confronté au calcul de la performance temporelle. Il doit s'interroger en particulier sur la pertinence des chiffres qui lui sont fournis vis-à-vis de son besoin.

Différentes valeurs peuvent être trouvées :

- débit du médium,
- temps de cycle du réseau,
- temps de réponse de l'automatisme sur une action particulière,
- temps de réponse global du procédé.

L'utilisateur doit privilégier les caractéristiques applicatives, seules significatives pour lui.

Typiquement, il s'intéresse au temps de réponse entrées / sorties (mesurer ou calculer au bout de combien de temps une sortie est activée après activation d'une entrée) en précisant chaque fois :

- la valeur nominale,
- la valeur maximum garantie.

Les informations du type débit du médium ou temps de cycle réseau ne peuvent être exploitées qu'après une analyse plus approfondie.

#### ■ Cycles et performance

La plupart des bus d'automatisme fonctionnent sur des principes de scrutation cyclique : les informations sont acquises au rythme d'un cycle répété à l'infini. Chaque information est acquise une fois dans le cycle.

Dans le pire des cas, lorsque l'instant d'acquisition a lieu juste avant le changement d'état, ce dernier n'est transmis qu'au cycle suivant. (cf. **fig. 6**).

Certains bus, comme WorldFIP, permettent de définir un macro-cycle, lui-même décomposé en

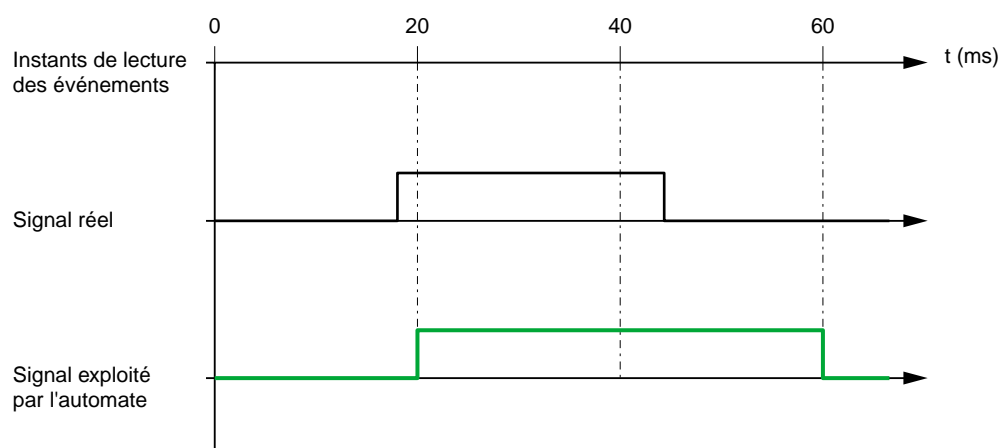
cycles élémentaires (cf. Annexe). Certaines informations seront alors échangées à chaque cycle élémentaire tandis que d'autres ne le seront qu'un cycle élémentaire sur deux, ou même une fois par macro-cycle. Cela permet d'adapter la période de rafraîchissement de chaque information aux temps de réponses requis.

De même le programme de l'automate est caractérisé par un temps de cycle. Certains capteurs-actionneurs comportent un logiciel fonctionnant selon un mécanisme cyclique. Chaque fois qu'un événement survient en entrée de l'un de ces systèmes cycliques, il faut attendre, au plus, la durée d'un cycle complet de ce système avant de pouvoir le traiter. Le temps de réponse global maximum est donc la somme des temps de cycle. Mais il peut y avoir un gros écart entre ce temps maximum et la performance nominale, obtenue lorsque les événements surviennent chaque fois en milieu de cycle. (cf. **fig. 7**)

#### ■ Impact du principe d'accès au médium

Selon le mécanisme d'accès au médium du bus, l'impact du temps de cycle du bus pourra être différent. Par exemple, selon le cas, la transmission de l'information au destinataire survient dès sa mise à disposition sur le bus ou peut prendre jusqu'à un temps de cycle complet. (cf. **fig. 8**).

Les comparaisons entre bus des caractéristiques du type débit du médium ou temps de cycle, sont donc insuffisantes – parfois utilisées de façon abusive – et peuvent conduire à de fausses conclusions sur les temps de réponse si elles sont décorrélées des principes de fonctionnement du bus.



**Fig. 6** : fluctuation du temps de réponse avec un mécanisme cyclique.

## Fiabilité

La fiabilité est un critère de performance. Dans le domaine de la sûreté de fonctionnement, tout ou presque peut s'évaluer, et tout bien sûr a un prix. Une fiabilité totale, absolue, aurait un prix infiniment élevé. Dans les cas critiques, où la sûreté apparaît comme la contrainte majeure du projet, il est absolument nécessaire de conduire

une évaluation avec un fiabiliste, afin d'avoir une confiance justifiée dans le système mis en œuvre. Dans bien d'autres cas, une simple évaluation peut suffire. L'utilisateur doit apprécier le risque et les moyens qu'il déploie pour s'en couvrir. La notion de risque est une synthèse entre le coût d'un événement redouté et sa probabilité d'apparition.

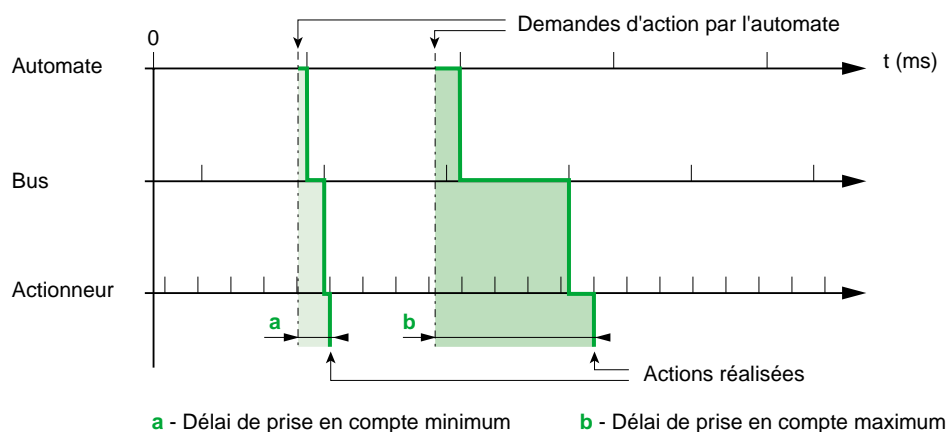


Fig. 7 : impact de cycles successifs sur le temps de réponse.

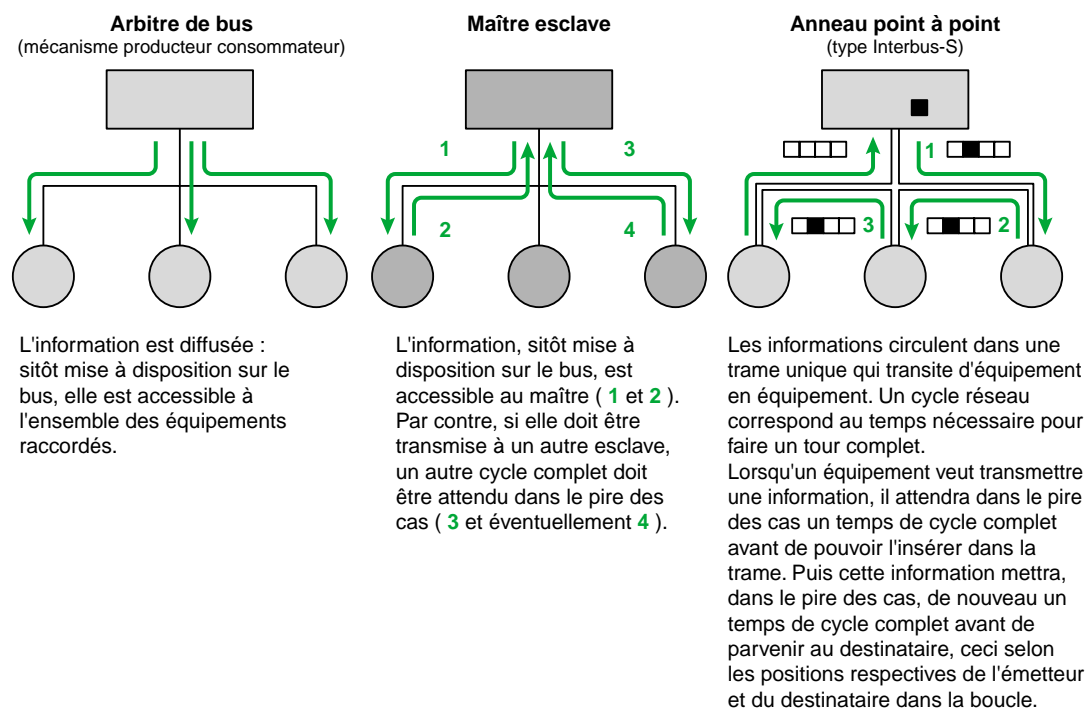


Fig. 8 : impact du temps de cycle sur les temps de réponse, selon le mécanisme d'accès au médium.



A priori, sauf architecture complexe et tolérante aux pannes, une défaillance du bus peut bloquer la totalité de l'application.

Pourtant, les bus de terrain contribuent à l'amélioration de la disponibilité de l'application (et par là à une réduction du coût global de revient d'une installation automatisée), en :

- facilitant le diagnostic (ajout d'informations de diagnostic, outils de recherche de pannes, simplicité du câblage),
- séparant les fonctions,
- facilitant (et rendant donc plus rapide) le remplacement d'un module de traitement.

Toutefois, tous les bus n'offrent pas le même niveau de service sur ce point :

- D'une part la qualité du diagnostic est variable quant aux :
  - informations fournies,
  - moyens d'accès à cette information.
- D'autre part, la continuité de service en cas de mise hors tension, déconnexion ou panne d'un équipement est variable d'un bus à l'autre. Certains bus sont plus particulièrement conçus pour gérer la disponibilité. Par exemple, Modbus+ permet entre autres la redondance du medium. Ces caractéristiques constituent un critère de choix pour les utilisateurs. A chacun d'en évaluer l'importance en fonction de ses besoins.

## 2.3 Optimisation coût-performance

### Limites technologiques actuelles

A ce jour, un seul réseau ne saurait satisfaire les besoins de toutes les applications, particulièrement en termes de coût et de performances, mais aussi de contraintes d'environnement, de produits connectés, de normalisation...

Les technologies actuelles permettent d'apporter une réponse satisfaisante en termes de coût pour la connexion d'équipements d'entrées / sorties simples du fait que ceux-ci ne requièrent que des échanges limités, en général sur des distances limitées. Inversement, pour des équipements nécessitant des volumes d'échanges plus importants, souvent sur de plus grandes distances, le coût des technologies nécessaires, plus élevé, est acceptable relativement au coût plus élevé de ces équipements.

Les objectifs de coût et de performances se rejoignent donc et ont conduit les constructeurs à proposer des solutions techniques adaptées aux niveaux requis. Une classification des solutions réseau est ainsi apparue : elle rejoint la découpe de la pyramide C.I.M.

### Classification des bus de terrain

Le schéma de la **figure 9** présente la plage couverte par chacune des principales normes de bus d'automatismes dans cette hiérarchie. Les différents aspects se retrouvent ainsi corrélés :

- Caractéristiques visées
  - volume et type des informations échangées,
  - prix des coupleurs réseaux,
  - temps de réaction requis,
  - longueur maximum des réseaux.

- Classification associée
  - niveaux de la pyramide C.I.M.,
  - noms des familles de réseaux,
  - place dans une architecture typique.

Bien sûr, toutes les valeurs ne sont que des ordres de grandeur.

Cette classification permet de rapidement comprendre la cible d'un bus ou, inversement, de mettre un besoin en adéquation avec une liste de bus. Elle mérite toutefois quelques commentaires afin d'être bien comprise et utilisée à bon escient :

- Elle n'est pas discontinue. L'objectif se limite à identifier la zone dans laquelle un bus assure la meilleure réponse à l'optimisation du rapport coût/performance. Lorsqu'on s'éloigne de cette zone, le rapport devient progressivement moins bon.
- L'utilisateur peut être séduit par les normes qui couvrent plusieurs niveaux. En effet, moins l'utilisateur emploie de réseaux différents, plus il
  - réduit son investissement
  - formation,
  - standardisation des matériels gérés...
  - accroît sa liberté dans la définition de ses architectures d'automatisme,
  - faisant dialoguer n'importe quel équipement avec n'importe quel autre de façon transparente
  - évitant passerelles et écriture de programmes dédiés pour gérer des échanges...

C'est aussi un gage de pérennité de la solution. Comme elle n'est pas trop spécialisée, elle est mieux en mesure d'assurer sa propre rentabilité par effet de volume, donc, en ce qui concerne l'utilisateur, sa pérennité. Tel est le cas de Modbus Plus, remarquable par son aspect fédérateur.



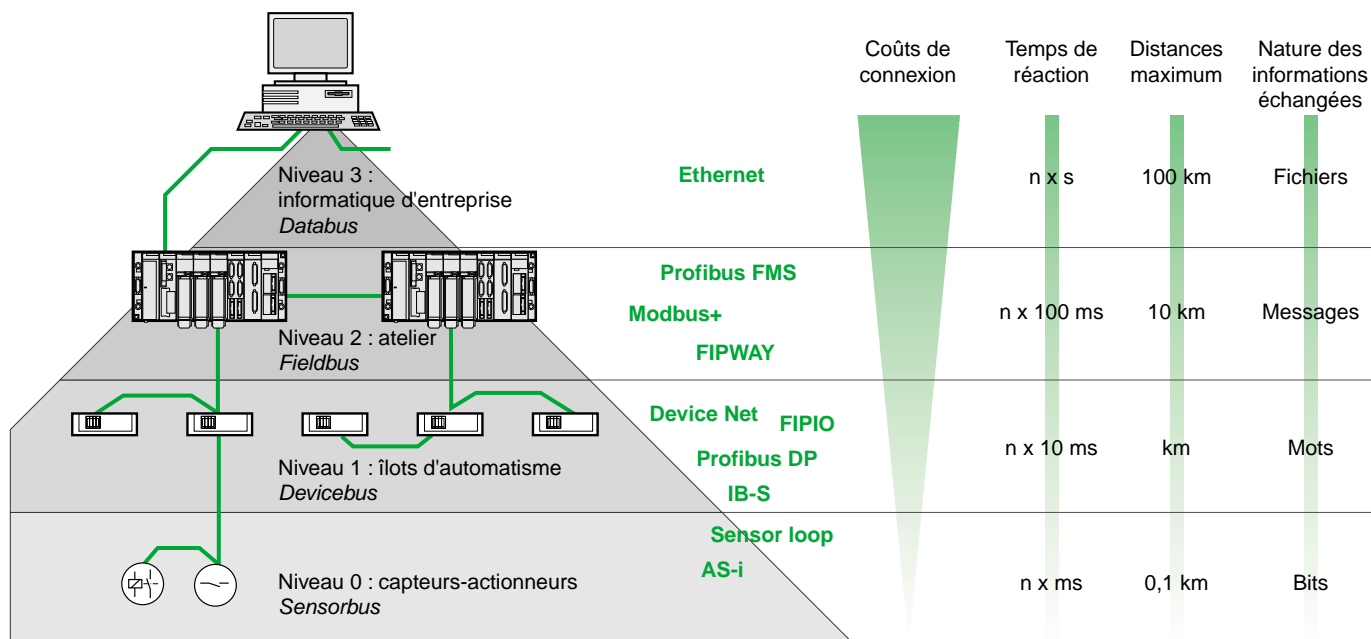


Fig. 9 : classification des bus de terrain.

De nombreuses normes arrivent ainsi à répondre dans de bonnes conditions aux besoins des niveaux 1 et 2, débordant parfois sur le bas du niveau 3 et/ou le haut du niveau 0.

Au contraire, en raison des fortes contraintes de coût au niveau 0, les bus bien situés à ce niveau peuvent rarement prétendre à plus qu'un léger débordement sur le bas du niveau 1.

L'utilisateur doit prendre garde à ne pas être trompé par un prétendu bus universel qui en réalité ne pourrait assurer le compromis coût-performances à tous les niveaux. Mieux vaut une passerelle bien intégrée dans le système automate qu'un bus trop coûteux sur une partie de l'application. Ainsi, des passerelles permettent de rattacher des équipements AS-i à une architecture FIPIO ou Modbus Plus.

Il convient d'apporter quelques précisions sur deux sources de confusion :

#### ■ Profils de communication

Sous une même norme, se cachent dans certains cas des variantes – des profils de communication – segmentant les niveaux de coûts et de performances recherchés. Entre elles, le niveau de compatibilité est variable.

#### ■ Technologies

La plupart des bus proposent différentes solutions techniques – différents ASICs en particulier – pour se connecter au bus à un coût adapté au produit connecté et à ses performances. Il peut ainsi exister un composant particulièrement adapté pour le niveau 1 et un autre particulièrement adapté pour le niveau 2. L'existence de plusieurs composants bien ciblés permet au fabricant de proposer des produits au rapport coût / performance optimisé.

L'utilisateur doit bien comprendre ces notions qui vont être précisées par la suite. A défaut, il découvre parfois trop tard que, derrière une même appellation, se cachent deux bus différents.

#### Profils de communication

Une norme de réseau définit les règles visant à permettre aux équipements s'y conformant de communiquer entre eux. Mais la plupart des normes proposent, ou autorisent par manque de précision, des alternatives de fonctionnement parfaitement incompatibles entre elles, chacune adaptée à un contexte d'utilisation. La simple conformité à la norme garantit donc rarement ce que recherche l'utilisateur, à savoir la communication des équipements entre eux.

Un profil de communication s'appuie sur une norme de réseau et vise à définir, dans le cadre de cette norme :

- d'une part des choix (parmi les différentes alternatives proposées par la norme),
- d'autre part, éventuellement, des compléments à la norme, nécessaires pour garantir la communication entre équipements se conformant au profil.

Il sélectionne ainsi l'ensemble des caractéristiques de la norme adaptées à un contexte d'utilisation donné, par exemple le déport des Entrées / Sorties d'un automate (niveau 1) ou la synchronisation entre automates (niveau 2).

Pour l'utilisateur c'est une meilleure garantie d'interopérabilité. De plus, cela lui permet de bénéficier des avantages de la non-multiplication des types de réseaux, à condition toutefois de bien comprendre la portée de ces profils et les limites associées.

En particulier :

- Les outils de câblage (câble, connecteurs...) sont-ils les mêmes sur chaque profil ?
- Dans quelle mesure deux équipements conformes chacun à un profil différent du même bus, peuvent-ils interopérer ? A défaut, y a-t-il compatibilité pour un sous-ensemble du protocole ?

Dans la négative, cela revient à utiliser deux bus différents.

#### Exemple de profil de communication

Sur la base de la norme WorldFip, deux profils ont été définis et sont proposés sur les produits Schneider Electric :

- FIPIO, bus d'E/S de l'automate (niveau 1),
- FIPWAY, bus de synchronisation (niveau 2).

La définition de tels profils intégrés dans les systèmes automates, apporte à l'utilisateur une garantie sur les compatibilités de fonctionnement, sans qu'il ait besoin d'approfondir sa connaissance de la norme WorldFip.

Dans cet exemple, les équipements FIPIO et FIPWAY ne peuvent pas être raccordés au même réseau, mais :

- les outils de câblage sont les mêmes dans les deux cas,
- les deux profils s'appuient sur les échanges de variables et de messages de la norme WorldFip :
- les variables sont différentes dans les 2 cas :
  - E/S automates pour FIPIO,

- informations de synchronisation dans le cas de FIPWAY ;

- les mêmes messages, par contre, peuvent être routés d'un profil à l'autre. La seule différence se situe dans la bande passante disponible pour cette messagerie,
  - faible sur FIPIO,
  - forte sur FIPWAY.

Ceci permet de :

- faire transiter la messagerie de façon transparente de FIPIO à FIPWAY et vice versa,
- connecter les consoles de programmation indifféremment sur FIPIO ou FIPWAY,
- paramétrer les équipements – ou la connexion de dialogue opérateur – utilisant la messagerie, indifféremment sur FIPIO ou FIPWAY,
- utiliser des outils de diagnostic identiques – analyseur réseau par exemple – indifféremment sur FIPIO ou FIPWAY, limitant les besoins de formation pour l'utilisateur.

Pour la norme Profibus, Profibus DP et Profibus FMS offrent une découpe similaire.

#### Technologie

Ce terme est utilisé ici pour désigner les composants matériels et/ou logiciels permettant d'assurer le fonctionnement d'un produit conformément à une norme et/ou un profil de communication.

Une même norme peut être supportée par des technologies (composants) différentes permettant de s'adapter au mieux aux besoins de communication de chaque équipement :

- les équipements connectés aux niveaux les plus bas n'offrent pas forcément toutes les fonctions proposées mais tous disposeront d'un noyau commun leur permettant de dialoguer,
- les besoins d'échanges importants en quantité et diversité des équipements les plus complexes n'induisent pas un coût de connexion élevé pour les équipements les plus simples.

Chaque équipement utilise pour se connecter, une technologie – un composant – dépendant de ses propres besoins d'échanges et non du bus.

Cela se rapproche d'ailleurs de la notion de profils : souvent, des composants seront spécifiés pour supporter tout ou partie des profils d'une norme.

### Exemple sur les technologies

La norme WorldFip utilise 3 types de composants :

- FULLFIP et FIPIU supportent toutes les possibilités de la norme, y compris la messagerie et les fonctions d'arbitrage de bus.
- FIPCO gère les échanges de variables sans restrictions (à l'exclusion des fonctions d'arbitrage

de bus et de messagerie). Il doit être piloté par un microcontrôleur.

- MICROFIP permet de connecter un équipement simple (entrées/sorties seulement) sans micro-contrôleur.

La **figure 10** illustre l'utilisation de ces différents composants dans le cas du bus d'entrées/sorties déportées d'un automate.

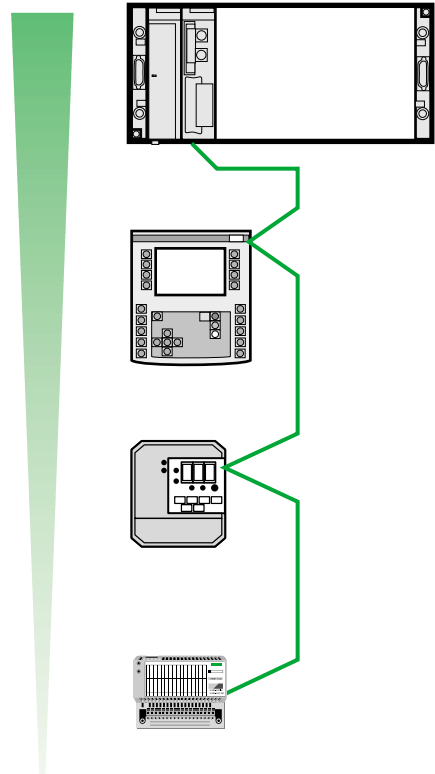
L'automate, grâce au composant FIPIU ou FULLFIP, dispose ainsi de toutes les possibilités offertes par le bus FIP, y compris la fonction d'arbitre de bus lui permettant de gérer l'accès au médium pour l'ensemble des équipements connectés.

Dialogue opérateur connecté à l'aide du composant FIPIU : cela lui permet d'accéder grâce à la messagerie à l'intégralité de la mémoire automate pour afficher une large variété d'informations requises par l'opérateur.

Variateur de vitesse commandé par quelques mots d'entrées / sorties et paramétrable par quelques dizaines de mots de configuration. Il se connecte à l'aide du composant FIPCO piloté par un micro-contrôleur de la famille 8051. Les échanges restent assez simples mais plus importants en taille.

Module gérant 8 entrées TOR et 8 sorties TOR connecté au bus à l'aide du composant MicroFip, sans micro-contrôleur. Il s'agit d'une solution très bas coût, mais les seules informations échangées sont les entrées / sorties.

### Coût



**Fig. 10** : optimisation du rapport coût-performance par utilisation de composants appropriés.

## 3 L'interopérabilité

Après avoir choisi un bus au vu de ses caractéristiques, il convient de s'assurer que les différents équipements à connecter peuvent fonctionner ensemble en assurant les échanges requis par l'application visée.

On parle « d'interopérabilité » pour qualifier ce « bon fonctionnement ».

Mais avant d'aller plus loin, les termes employés dans ce domaine doivent être clarifiés.

### 3.1 Définitions

#### Exemple

Ces définitions sont illustrées par l'exemple d'un variateur de vitesse qui échange avec un automate via un réseau WorldFip :

- Deux mots d'entrée variateur
  - ordre de marche/arrêt du moteur,
  - consigne de vitesse.
- Trois mots de sortie variateur
  - état effectif du moteur (marche/arrêt),
  - consigne de vitesse appliquée au moteur,
  - vitesse mesurée du moteur.

De plus, ce variateur doit, pour fonctionner, recevoir des paramètres de l'automate.

#### Conformité

La conformité à une norme désigne simplement le fait de respecter ses prescriptions. Ce n'est en aucun cas une garantie de bon fonctionnement entre équipements dans le cadre d'une application d'automatisme :

- La norme peut proposer des options : le bon fonctionnement de deux équipements suppose le choix des mêmes options ou, tout au moins, d'options compatibles.  
Exemple : le débit du médium, le type d'accès aux variables (soit par une adresse physique, soit par un nom) ou la liste des services supportés peuvent faire l'objet d'un choix.
- La norme peut comporter des trous de spécifications laissant à chaque équipement une marge d'interprétation. Il suffit que, sur deux équipements, un point ait été interprété différemment pour qu'ils n'interopèrent pas.

■ Certaines normes ne portent que sur une partie des couches ISO (cf. Annexe) et ne peuvent donc à elles seules permettre à 2 équipements d'échanger des informations. Par exemple, Ethernet (ou 8802.3) traite exclusivement des couches 1 et 2, TCP/IP des couches 3 et 4.

Dans l'exemple proposé, la conformité du variateur signifie qu'il échange ses entrées / sorties et ses paramètres au travers de trames conformes à la norme WorldFip. Les paramètres, par exemple, peuvent être échangés via des variables ou des messages WorldFip : dans un cas comme dans l'autre, le variateur est conforme.

#### Interopérabilité

L'interopérabilité est la faculté de deux équipements de dialoguer. Toutefois, pour être tout à fait exploitable par un utilisateur, cette notion doit être précisée : En effet, deux équipements peuvent très bien interopérer sur certains services et pas sur d'autres. L'utilisateur doit déterminer si les services et fonctions pour lesquels les équipements interopèrent satisfont aux besoins de son application.

Afin de faciliter cette démarche, certains bus définissent des profils de communication (cf. §2.3) qui précisent les options choisies et les caractéristiques exactes des informations échangées.

Dans l'exemple proposé, le variateur et l'automate n'interopèrent pas, bien qu'étant tous deux conformes à la norme, si :

- le variateur reçoit ses paramètres par des trames de messagerie,
- l'automate ne gère que les variables.

### Interchangeabilité

L'interchangeabilité désigne la possibilité de remplacer un équipement par un autre de même type, assurant les mêmes fonctions et proposant les mêmes services sur le bus : par exemple, un variateur de vitesse peut, ou ne peut pas, être remplacé par un autre sans modification de l'application d'automatismes, c'est à dire sans toucher au programme applicatif de l'automate dans l'exemple considéré. En plus de l'interopérabilité entre l'automate et chacun des variateurs, cela nécessite que la nature et le type des informations échangées avec l'automate soient identiques quel que soit le variateur utilisé.

Cette notion requiert plus que la conformité à un protocole réseau. En effet, elle suppose de définir la liste, la structure et les caractéristiques (nature et type) des informations gérées par l'ensemble des équipements d'un certain type. C'est la notion de profil d'équipement.

Pour revenir à l'exemple proposé, supposons que le variateur échange l'état de ses entrées par une variable WorldFip contenant d'abord l'ordre de marche/arrêt, ensuite la consigne de vitesse.

Un autre variateur de vitesse, échangeant ses entrées au travers de la même variable mais

dans laquelle la consigne de vitesse se trouve en premier et l'ordre de marche-arrêt en second, interopère lui aussi avec l'automate, mais n'est pas interchangeable avec le premier variateur. Un profil d'équipement, définissant la sémantique de chacun des mots d'entrées / sorties d'un variateur, permet d'assurer l'interchangeabilité. En contrepartie, cela interdit à l'utilisateur de bénéficier des fonctions spécifiques disponibles sur certains produits. Aussi, certains constructeurs y voient un frein aux possibilités d'enrichissement de leur offre. Au contraire, certains utilisateurs y voient un espoir d'interchangeabilité.

Il est clair que, pour des équipements complexes comme des variateurs de vitesse, le nombre de paramètres entrant en jeu, notamment les comportements temps réel, font de l'interchangeabilité un objectif difficile à atteindre.

Un profil d'équipement peut être défini indépendamment du réseau utilisé : il suffit ensuite de préciser pour chaque réseau, les objets de communication utilisés (types de trames : messages, variables...) pour échanger les objets fonctionnels définis dans le profil d'équipement.

Les variateurs Schneider Electric sont conformes au profil d'équipement DRIVECOM.

## 3.2 Quelles garanties de fonctionnement ?

### Objectif

L'utilisateur doit obtenir des garanties vis-à-vis de :

- l'interopérabilité, avant toute chose, pour assurer le bon fonctionnement de l'application visée,
- la conformité à une norme de bus afin de s'assurer que le bon fonctionnement n'est pas limité à l'utilisation faite et offrir les meilleures garanties en cas d'évolution : utilisation de nouveaux services, changement de produit etc.
- l'interchangeabilité, éventuellement, pour se donner la possibilité de changer de produit, voire de fournisseur, par exemple lors d'une évolution, ou d'une réparation.

Quels sont les moyens d'obtenir ce genre de garanties ? C'est ce qui est détaillé dans les paragraphes suivants.

### Associations

La plupart des bus de terrain sont promus par une association qui regroupe les fabricants de produits connectés au bus (ou susceptibles de l'être). Certaines de ces associations regroupent aussi des utilisateurs, ce qui constitue clairement un atout. Il existe par exemple des associations autour des normes Profibus, WorldFip, Device Net, Interbus-S, AS-i.

Ces associations contribuent à la promotion de leur norme et des technologies associées et permettent d'assurer un respect de la norme par chacun de leurs membres.

Toutefois, la qualité de leur fonctionnement est variable. Nombreuses sont celles qui sont essentiellement animées par un grand constructeur d'automates et auxquelles adhèrent les constructeurs de la périphérie automate.

L'avantage en est que la garantie de ce constructeur est le meilleur gage de bon fonctionnement de l'association et élimine tout risque de divergences entre les membres. Par contre, cela réduit les possibilités pour cette norme de devenir un standard partagé par plusieurs grands constructeurs d'automates. Un cas particulier est celui du club Interbus-S, animé par Phoenix, fabricant de produits périphériques et non d'automates.

Parmi ces associations, on peut noter le bon fonctionnement du consortium AS-i, dont Schneider Electric et Siemens font partie. Cette association regroupe des constructeurs majeurs qui, non seulement en sont membres, mais aussi proposent de larges catalogues de produits concurrents. Elle a su gérer les évolutions de la norme et son respect par les produits.

Certaines associations proposent des certificats de conformité. Cela contribue à limiter les risques mais n'est pas une garantie d'interopérabilité.

### **Organismes de normalisation**

Certains bus sont conformes à des normes internationales (ISO, CEI...) ou nationales (IEEE, UTE...). Cela constitue pour l'utilisateur une garantie de qualité et peut avoir une importance vis-à-vis de marchés publics.

Toutefois, l'évolution constante des technologies de bus est souvent difficilement compatible avec le consensus, et donc les délais, nécessaires à l'élaboration d'une norme.

Les constats d'échecs des normes sont nombreux. Dans le monde des automatismes, il faut citer la norme MMS. Réclamée par les utilisateurs, implémentée au-dessus d'Ethernet par l'immense majorité des fournisseurs, elle n'a jamais pris de réel essor. Pourtant, en dépit de défauts de jeunesse tolérables, elle répondait convenablement aux besoins de bon nombre d'applications. Aujourd'hui, quasiment toutes les applications utilisent des messageries propriétaires. Le besoin d'une messagerie normalisée était-il bien réel ?

### **Notoriété**

De nombreux réseaux propriétaires sont devenus des « standards de fait ». Cela est vrai dans le monde industriel depuis plusieurs années pour Modbus/JBus, Unitelway... Cela est vrai aussi dans le monde informatique avec des standards de fait comme TCP/IP qui se sont très largement développés au détriment des normes ISO équivalentes.

L'apparition d'un standard de fait par la pénétration d'une technologie dans un marché (industrie en général, secteur industriel important comme l'automobile...) est clairement un gage de bon fonctionnement des produits s'y conformant. Par exemple, les composants CAN, issus du secteur automobile, intéressent par leur bas coût le secteur de l'automatisme.

De même, un certain nombre de technologies venues du secteur informatique, représentant un marché beaucoup plus important que le secteur de l'automatisme, ont pénétré le monde industriel. C'est par exemple dans un autre domaine le cas des PCs qui ont remplacé les consoles dédiées pour programmer les automates.

De même, la norme ISO 8802.4, dédiée aux automatismes pour les réseaux de niveau 2, n'a pas pu résister à la pénétration d'Ethernet (ISO 8802.3). Les quelques avantages de 8802.4 pour l'automatisme n'ont pas convaincu face :

- à l'énorme base de réseaux Ethernet déjà installés dans les usines pour les besoins de l'informatique d'entreprise,
- aux réductions de coûts et à la multiplicité des outils disponibles pour Ethernet, induites par les effets de volume propres au marché de l'informatique d'entreprise.

En résumé, la notoriété d'un standard, synonyme de volume, et donc de retour d'expériences, est pour l'utilisateur un gage de bon fonctionnement. Le volume du catalogue de produits compatibles en est un bon indicateur.

### **Garanties d'un constructeur**

Enfin, une des meilleures assurances de bon fonctionnement d'équipements hétérogènes dans le cadre d'une installation distribuée demeure la garantie d'un grand constructeur. Cela suppose bien évidemment la volonté d'un tel constructeur d'ouvrir ses architectures. C'est aujourd'hui le cas de principaux offreurs d'automatismes programmables – Rockwell, Schneider Electric ou Siemens – qui maîtrisent une technologie de bus de terrain, intégrée de façon privilégiée dans leurs offres :

- CPU automates intégrant la connexion au bus,
- large gamme de modules d'E/S TOR, analogiques IP20 et IP65,
- nombreux équipements connectés du constructeur et de partenaires, parfois concurrents :
- distributeurs pneumatiques,
- codeurs de position,



- variateurs de vitesse et produits de contrôle d'axes,
- robots
- identification : lecteurs code-barre, lecteurs inductifs etc.
- produits de dialogue Homme-machine,
- produits spécifiques à un métier : vissage, soudage etc.
- systèmes de vision,
- échanges E/S et remontée de diagnostics harmonieusement intégrés dans le langage et les outils de programmation et de diagnostic, aussi bien pour les produits du constructeurs que pour les produits partenaires.

Pour cela, les constructeurs ont mis en place des programmes de partenariat pour accompagner les constructeurs de produits d'automatisme susceptibles de se connecter à leur bus. Ainsi, Schneider Electric, avec les programmes Modconnect pour Modbus Plus, et Fipconnect pour FIP, aujourd'hui fusionnés dans Schneider Alliances, propose à ses partenaires des solutions matérielles et logicielles pour faciliter le développement de leurs connexions mais aussi des tests d'interopérabilité qui apportent aux clients communs toutes les garanties de bon fonctionnement.

Certes, il est dans ce contexte préférable que la technologie de bus de terrain supportée par le constructeur soit une norme garantie par un organisme officiel et supportée par un club ou association à laquelle participent de nombreuses entreprises, y compris des utilisateurs. De même, la crédibilité de la stratégie d'ouverture suppose qu'elle autorise la connexion de produits concurrents de ce constructeur. Mais s'il y a l'implication technique et financière d'un constructeur majeur :

- apportant des garanties de fonctionnement du bus qu'il maîtrise, particulièrement sur les aspects système, et performance globale, ce qui est impossible avec des solutions trop hétérogènes,
- sur lequel il peut assurer tout le support technique nécessaire,
- avec des équipements qu'il a validés, y compris ceux de tiers,

cela rend plus crédible pour le client sa motivation à le satisfaire.

Cette implication permet d'éviter les situations, fréquentes en matière de réseaux, dans lesquelles chacun des fournisseurs de produits connectés sur un réseau se renvoie la responsabilité des dysfonctionnements.

Enfin, cette solution permet de limiter la multiplication des fournisseurs au seul besoin réel, à savoir, faire appel à un fournisseur nouveau lorsque celui-ci a une compétence nouvelle et spécifique dans un métier donné, par exemple :

- Utiliser un produit pneumatique ou de soudage lorsque le constructeur d'automate ne propose pas ce genre de produits.
  - Choisir un produit concurrent à un produit du constructeur d'automates lorsque le produit du concurrent présente des avantages fonctionnels, techniques ou économiques par rapport au produit équivalent du constructeur d'automates.
- En s'appuyant sur la logique de construction d'une architecture d'automatismes proposée par un grand constructeur d'automates, elle permet d'éviter les adaptations coûteuses en matériel, formation et maîtrise globale :
- passerelles multiples,
  - outils hétérogènes...

### **L'interopérabilité aujourd'hui**

Dans un passé proche, l'interopérabilité et la conformité ont préoccupé à juste titre les utilisateurs, confrontés à des dysfonctionnements.

Aujourd'hui, tel n'est plus le cas :

- Maturité des technologies réseau dans le monde industriel.
- Prise en compte de ces risques par les constructeurs en amont par des tests plus rigoureux (conformité et interopérabilité avec divers équipements, y compris concurrents).
- Normes mieux définies.
- Souvent, garantie d'un grand constructeur sur une technologie qu'il maîtrise.

L'interchangeabilité, elle, n'en est qu'à ses balbutiements.

## 4 La pérennité

### 4.1 Enjeux

Une ou plusieurs technologies de bus de terrain ayant été identifiées sur la base des critères de coût et de performances, et les garanties obtenues sur le bon fonctionnement de l'application d'automatisme visée avec cette technologie, l'utilisateur doit s'assurer de la pérennité de l'application, et en particulier de la pérennité de la technologie de bus de terrain choisie.

Il s'agit pour l'automaticien d'avoir l'assurance que les produits qu'il va utiliser auront une durée de vie (commercialisation puis maintenance) compatible avec ses besoins.

Les produits d'automatisme utilisés représentent une part en général faible du coût global de l'installation. Cette installation est lourde et n'a pas vocation à être remplacée dans des délais courts : les durées de vie sont de l'ordre de 10 à 20 ans. Or, les produits d'automatisme s'appuient de plus en plus – en particulier avec l'introduction des bus de terrain – sur les technologies électroniques et informatiques dont les durées de vie sont nettement plus faibles et l'évolution permanente. Au vu des progrès incessants de l'électronique, qui peut prédire avec certitude si une seule des technologies actuelles sera encore utilisée dans 20 ans ?

### 4.2 Tendances

Avant de traiter de la pérennité, il est nécessaire de préciser les voies dans lesquelles les techniques évoluent.

Trois tendances se dessinent à ce jour :

#### **Augmentation du champ d'application des bus**

Une première tendance est la capacité croissante des bus à couvrir plusieurs niveaux de la pyramide C.I.M. Chaque bus tente d'évoluer pour élargir son champ d'application, donc, de manière pragmatique, son marché potentiel. C'est la réponse, dans les limites de la technologie, à la demande idéale des utilisateurs de disposer d'un réseau unique, universel, répondant à l'ensemble de leurs besoins.

Compte tenu des possibilités techniques actuelles, la principale tendance consiste en une extension des bus de niveau 0 vers le bas du niveau 1, parallèlement à une extension des bus de niveau 3 vers le niveau 2.

Ainsi, le bus AS-i évolue pour pouvoir gérer des informations analogiques tandis que l'utilisation d'Ethernet, très présent au niveau 3, est évoquée pour le niveau 2, voire le niveau 1.

Des études sont faites sur sa capacité à répondre aux besoins de ces niveaux, pour bénéficier de la réduction des coûts due à la grande diffusion de cette technologie.

Un coupleur Ethernet est d'ores et déjà disponible pour les modules d'Entrées / Sorties de la famille MOMENTUM de Schneider Electric. Parallèlement, Les bus de terrain de niveau 1 et 2, qui sont largement implantés dans l'industrie et satisfont convenablement aux besoins des utilisateurs, évoluent pour couvrir un domaine d'application plus large :

- augmentation du débit du médium, pour de meilleures performances et couvrir mieux le niveau 2, voire le bas du 3 ;
- nouveaux composants, connecteurs... moins chers et d'utilisation plus simple, pour s'étendre vers le haut du niveau 0 ;
- catalogue toujours plus grand de produits adaptés à des environnements spécifiques :
  - produits étanches,
  - modules compatibles avec des atmosphères explosives,
  - câbles résistant à toutes sortes d'environnements agressifs (milieux salins, acides, huiles, rayons solaires...) etc.



■ prise en compte du protocole TCP/IP pour s'ouvrir à Internet et bénéficier de la vague technologique à faible coût qui l'accompagne, tout en conservant les caractéristiques adaptées à l'environnement industriel.

Il est donc difficile de dire aujourd'hui quelle sera l'évolution sur ce point. Les différentes voies sont étudiées par les constructeurs.

### Profils d'équipement

Aujourd'hui, les technologies de bus de terrain sont largement utilisées et apportent déjà plus que les bénéfices escomptés initialement. Le marché est donc mûr pour passer à l'étape suivante, si les utilisateurs y trouvent matière à de nouveaux gains, en coût en particulier. Un travail de normalisation de profils d'équipements est en cours, auquel Schneider Electric participe. Il va toucher un nombre croissant de catégories d'équipements. Il faut donc s'attendre à une multiplication des solutions reposant sur des profils d'équipements. De plus, ces profils permettent la définition d'objets d'automatisme de haut niveau qui pourront faciliter le travail des utilisateurs :

- programmation,
- maintenance,
- interopérabilité,
- interchangeabilité, etc.

### Répartition de l'intelligence

Enfin, après avoir permis le déport des entrées / sorties, et souvent la décentralisation de l'intelligence, le bus de terrain ouvre aujourd'hui la voie à la répartition de l'intelligence.

En effet, à l'origine, le concept d'automate programmable est avant tout un ordinateur disposant d'interfaces d'entrées / sorties. Si ces interfaces peuvent dorénavant communiquer avec l'ordinateur par un réseau, l'automate – simplement muni d'une interface réseau, comme tout ordinateur aujourd'hui – perd toute particularité.

Certes, ce discours est un peu simplificateur. Tel quel, le PC n'intègre pas certaines valeurs d'usage de l'automate comme la robustesse ou la pérennité. Mais il existe déjà des cartes automates pour PC qui permettent d'aller dans ce sens sans rupture (en pensant toujours à la pérennité) et l'emploi des bus de terrain amplifie encore cette tendance.

L'architecture d'automatisme se ramène alors à un bus de terrain sur lequel sont raccordés :

- les différents composants d'automatisme qui intègrent tout ou partie de l'intelligence de l'automate,
- les interfaces Homme-machine,
- le terminal de programmation, qui via le bus, répartit le programme dans les différents composants d'automatismes,
- éventuellement, une unité centrale d'automate, qui peut demeurer lorsque les composants d'automatisme ne sont pas en mesure d'intégrer toute l'intelligence de traitement requise (cf. fig. 11).

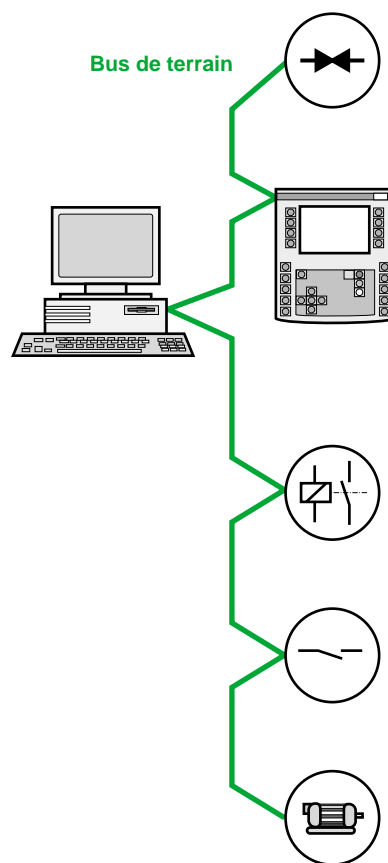


Fig. 11 : intelligence répartie dans les composants d'automatismes.

### 4.3 Garanties de pérennité

La notoriété d'un standard a déjà été évoquée parmi les garanties de bon fonctionnement. L'apparition de standard de fait pénétrant largement un marché constitue également un gage de pérennité. Mais tout standard, même très répandu, est amené à évoluer ou à disparaître. Cela se constate tous les jours dans l'informatique où même les standards les plus répandus sont abandonnés car la pérennité ne constitue pas une contrainte forte dans ce domaine.

Face aux évolutions, la maîtrise simultanée des ateliers de programmation et des technologies réseau utilisées devient plus que jamais fondamentale dans le monde des automatismes. L'utilisateur doit pouvoir s'appuyer sur une société capable de fournir avec ses partenaires un système complet, d'en assurer le bon fonctionnement et la maintenance corrective et évolutive. Face à la multiplication d'équipements hétérogènes et à la course technologique actuelle, les besoins de pérennité demeurent. Les constructeurs d'automates, conscients de ce besoin majeur de leurs clients, savent y répondre par de longues durées de commercialisation et de maintenance. En dépit de l'évolution permanente des technologies sur lesquelles ils s'appuient, ils savent aussi, lorsque

cela est nécessaire assurer des « migrations douces » vers ces nouvelles technologies par toutes sortes de solutions :

- conversions d'applications automatisées,
- passerelles,
- maintien de la technologie précédente en parallèle avec la nouvelle technologie sur les nouveaux produits.

À titre d'exemple, la durée de vie de protocoles de communication comme Modbus est sans égal dans le monde informatique.

La démarche de sociétés, dont le métier n'est pas axé sur la fourniture de solutions globales d'automatisme et des besoins de pérennité qui s'y attachent, qui n'apporteraient que la maîtrise d'un produit et pas celle du bus auquel il se connecte, peut conduire l'utilisateur à devoir traiter lui-même les obsolescences à des coûts prohibitifs.

Plus généralement, les outils matériels et logiciels utilisés par les automaticiens sont amenés à se banaliser par l'arrivée de technologies issues du monde Internet. Mais, dans ce contexte, l'automaticien aura plus encore besoin d'un interlocuteur crédible, maîtrisant à la fois ces nouvelles fournitures matérielles et logicielles et les contraintes spécifiques à ce métier.

## 5 Conclusion

L'automate programmable a constitué une révolution en introduisant les technologies électroniques et informatiques au cœur des systèmes de contrôle de procédés automatisés. Le bus de terrain en constitue une deuxième en étendant ces mêmes technologies, mais aussi les techniques réseau, jusqu'aux capteurs et actionneurs. Présentes dans l'ensemble du procédé, elles sont la base d'un énorme potentiel d'évolutions :

- Elles ont déjà, par étapes successives bouleversé les architectures, apportant des gains pas toujours envisagés à l'origine. Les compromis technico-économiques maintiennent encore pour un moment les solutions traditionnelles en parallèle.
- Au delà, les traitements eux-mêmes sont remis en cause : décentralisation puis répartition de l'intelligence. Cela nécessite, en plus de la technologie, un travail de normalisation : il est déjà engagé et ne manquera pas de se poursuivre dans les prochaines années.
- Enfin, elles drainent avec elles d'innombrables innovations pouvant révolutionner les automatismes: Java, Corba, internet, Active X...

Parallèlement aux évolutions amenées par les technologies, on peut s'attendre à une certaine rationalisation de l'offre : l'utilisateur s'en félicitera. Une augmentation des performances

des bus et donc de leur champ d'application est inéluctable même si le bus universel capable de répondre à tous les besoins n'existera sans doute jamais.

Face à ces bouleversements, l'utilisateur doit certes faire preuve de prudence et garder à l'esprit les contraintes spécifiques de son métier (environnement, pérennité...). Mais il doit tout autant prendre garde à ne pas rater le train en marche.

En particulier pérennité ne doit pas être confondue avec immobilisme. Pour l'utilisateur, la pérennité c'est :

- la garantie d'une disponibilité des produits pendant longtemps,
  - mais aussi (et peut-être surtout) des solutions de migration douce lorsqu'il a estimé qu'une nouvelle technologie apparue était rentable pour lui.
- En investissant dans les technologies à base de bus de terrain,
- il en tirera dès aujourd'hui les avantages reconnus (réductions de coûts, souplesse, capacités de diagnostic...)
  - il sera mieux armé pour juger de chacune des évolutions rapides à venir, influencer sur celles-ci, voire les demander à ses fournisseurs, plutôt que les subir.

## Mécanismes d'accès au médium

Ce paragraphe explique le principe de base de quelques-uns des mécanismes d'accès au médium les plus courants. On distingue les mécanismes déterministes (cf. §2.2) et les mécanismes non déterministes.

### Mécanismes déterministes

#### ■ Maître-esclave

Dans un mécanisme d'accès au médium de type maître-esclave, un seul équipement, le maître est à l'initiative de tous les échanges, les autres équipements, les esclaves, se contentant de répondre lorsque le maître le leur demande. Ce principe se retrouve sur bon nombre de réseaux basés sur une liaison série de type RS 485 avec des protocoles comme Modbus. Dans ce cas, les échanges sont programmés par l'utilisateur, et si des événements applicatifs aléatoires sont susceptibles de déclencher de tels échanges, le réseau n'est pas déterministe. Par contre, on peut s'appuyer sur ce mécanisme pour définir une scrutation cyclique par le maître d'informations sur un nombre défini d'équipements.

Le temps nécessaire pour interroger l'ensemble des équipements constitue un temps de cycle, qui est le délai maximum pour chaque équipement pour transmettre ses informations. C'est ce principe qui est utilisé par exemple avec le bus AS-i.

#### ■ Arbitrage de bus

Le mécanisme est assez voisin du précédent (mécanisme maître-esclave avec définition du cycle de scrutation des équipements) dans le sens où un seul équipement, l'arbitre de bus, attribue un droit de parole à tour de rôle à

chacun des autres équipements. La principale différence est que chacun des équipements, lorsqu'il fait usage de son droit de parole, peut adresser ses informations à n'importe quel autre équipement, ou même à tous simultanément (diffusion).

C'est ce principe qui est utilisé par exemple avec le bus WorldFIP.

#### ■ Bus à jeton (token ring)

Un tel mécanisme est défini par la norme 8802.4. Un jeton, correspondant à un droit de parole, passe de station en station, selon un ordre déterminé. Chaque station peut émettre vers n'importe quelle autre station tant qu'elle possède le jeton mais ne peut garder celui-ci que pour une durée limitée, définie par configuration. C'est ce principe qui est utilisé sur le réseau Modbus Plus.

### Mécanismes non déterministes

#### ■ CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection.

Il s'agit du principe d'accès au médium utilisé sur les bus de type Ethernet (norme ISO 8802.3). Un équipement souhaitant émettre une trame, tente de la transmettre puis vérifie qu'il n'y a pas eu de collision (i.e. qu'un autre équipement n'a pas essayé d'émettre au même moment). En cas de collision, il effectue une nouvelle tentative après une attente de durée aléatoire.

Ainsi, le temps de transfert d'une trame est lié au délai au bout duquel la collision est évitée : il est donc une fonction statistique du nombre d'équipements essayant d'émettre des trames, donc de la charge du réseau.

## Partage de la bande passante

Certains bus permettent de garantir les délais de transfert de certaines informations (typiquement des entrées / sorties déportées d'un automate) tout en conservant une partie de la bande passante pour faire transiter des informations dont les délais de transfert ne sont pas critiques.

### Illustration avec WorldFIP

Le bus WorldFIP est basé sur le déroulement par l'équipement possédant la fonction d'arbitrage de bus d'un cycle réseau, ou macro-cycle, composé de cycles élémentaires de même durée et de structure identique.

La durée d'un cycle élémentaire est elle-même découpée en fenêtres de temps allouées :

- au trafic cyclique (ou périodique) variables et / ou messages,
- au trafic apériodique variables,
- au trafic apériodique messages,
- au maintien de la synchronisation de tous les cycles élémentaires.

Chaque portion du trafic cyclique est allouée une fois pour toutes à une donnée du procédé : par exemple Entrées et Sorties des équipements. Au contraire, le trafic apériodique correspond à un temps alloué mais utilisé uniquement sur demande (cf. **fig. 12**).

Ainsi, trois types d'échanges se partagent la bande passante d'un réseau WorldFIP :

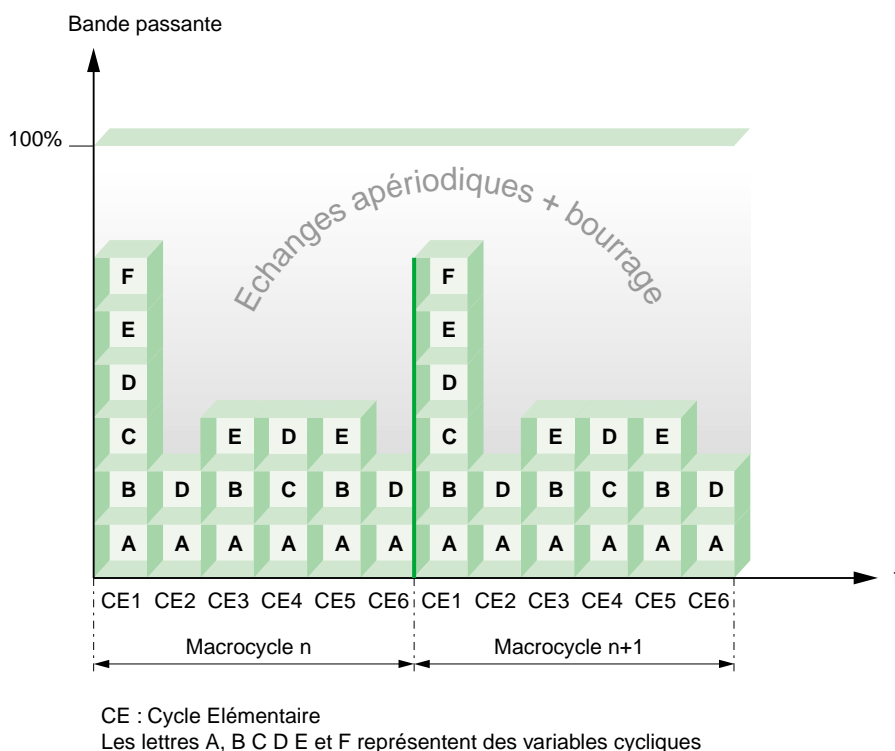
- Les variables cycliques (ou périodiques), pour les fonctions de contrôle commande temps critique.

- Les variables apériodiques, transmises à la demande sur changement d'état.

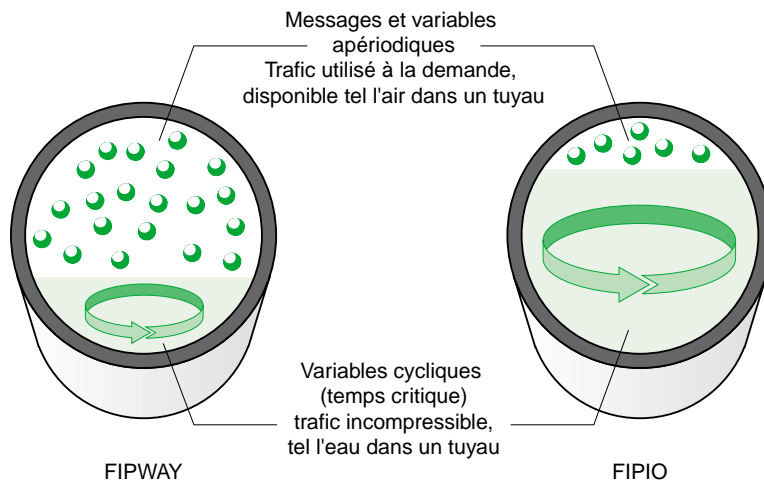
- La messagerie, elle aussi apériodique, pour les fonctions de téléchargement et de maintenance.

La part de la bande passante allouée à chacun de ces flux est un élément important d'une configuration WorldFIP. C'est en privilégiant l'un ou l'autre de ces flux que l'on spécialisera un réseau pour une application de type automatisme réflexe ou coordination entre équipements de contrôle et dialogue opérateur.

On peut ainsi comparer un réseau WorldFIP à un tuyau dans lequel circulent différents types de données, le « niveau » de chaque type de donnée étant déterminé par configuration (cf. **fig. 13** page suivante).



**Fig. 12** : le macro-cycle WorldFIP.



**Fig. 13 :** WorldFIP : un tuyau au niveau d'eau réglable. Illustration : FIPIO et FIPWAY.

#### Illustration avec Interbus-S

Il s'agit d'un mécanisme « d'anneau point à point », une trame unique circule d'équipement en équipement :

A chaque passage de la trame, un équipement lit la partie de celle-ci contenant les valeurs de ses entrées et écrit la partie de celle-ci contenant les valeurs de ses sorties. En plus de cela, la trame contient de 0 à 4 mots de 16 bits pouvant contenir un fragment de message (quatre mots étant en général insuffisants pour transmettre l'intégralité du message), permettant la transmission d'un tel fragment à chaque cycle du bus.

Par exemple, pour un canal messagerie de 1 mot le débit par esclave est de 256 octets/s si le cycle comporte 32 esclaves et 1024 E/S.

#### Illustration avec MODBUS PLUS

De même MODBUS PLUS offre simultanément des fonctionnalités nécessitant un mécanisme déterministe, comme la mise à jour cyclique des entrées / sorties, et d'autres qui se passent de cette contrainte, comme la programmation en ligne. Des « sessions logiques » assurent une mécanique propre, et donc dédiée à ces différentes fonctionnalités.

#### Cas de AS-i

Sur AS-i, a contrario, tous les échanges sont cycliques : les entrées / sorties des équipements circulent un fois toutes les 5 ms tandis que les paramètres de chaque équipement circulent une fois tous les 31 cycles. Aucun trafic supplémentaire ne peut être ajouté à cela. De ce fait, AS-i ne supporte pas de messagerie. Cela n'est clairement pas sa cible.

## Le modèle OSI de l'ISO

Le modèle OSI (Open System Interconnection) défini par l'ISO (International Standard Organization) segmente les fonctionnalités d'un système communiquant selon 7 couches. Ces couches vont des fonctions les plus proches du réseau (câble...) jusqu'aux fonctions les plus proches des besoins en communication de l'équipement (nature et sens des informations échangées...) (cf. **fig. 14**) :

Le principal objectif de cette découpe est de permettre de changer de norme pour une couche indépendamment des autres. Ainsi, par exemple, une liaison paire torsadée peut être

localement remplacée par une liaison fibre optique pour traverser une zone sujette aux perturbations électromagnétiques, toutes les fonctions des autres couches restant identiques : contenu des informations, adressage des messages, mécanisme d'accès au médium...

Néanmoins, tous les réseaux n'utilisent pas toutes les couches. C'est en particulier le cas des bus de terrain qui s'appuient pour la plupart sur une découpe en 3 couches : 1, 2 et 7. Ceci simplifie le fonctionnement des coupleurs de communication et autorise des performances élevées et des coûts bas.

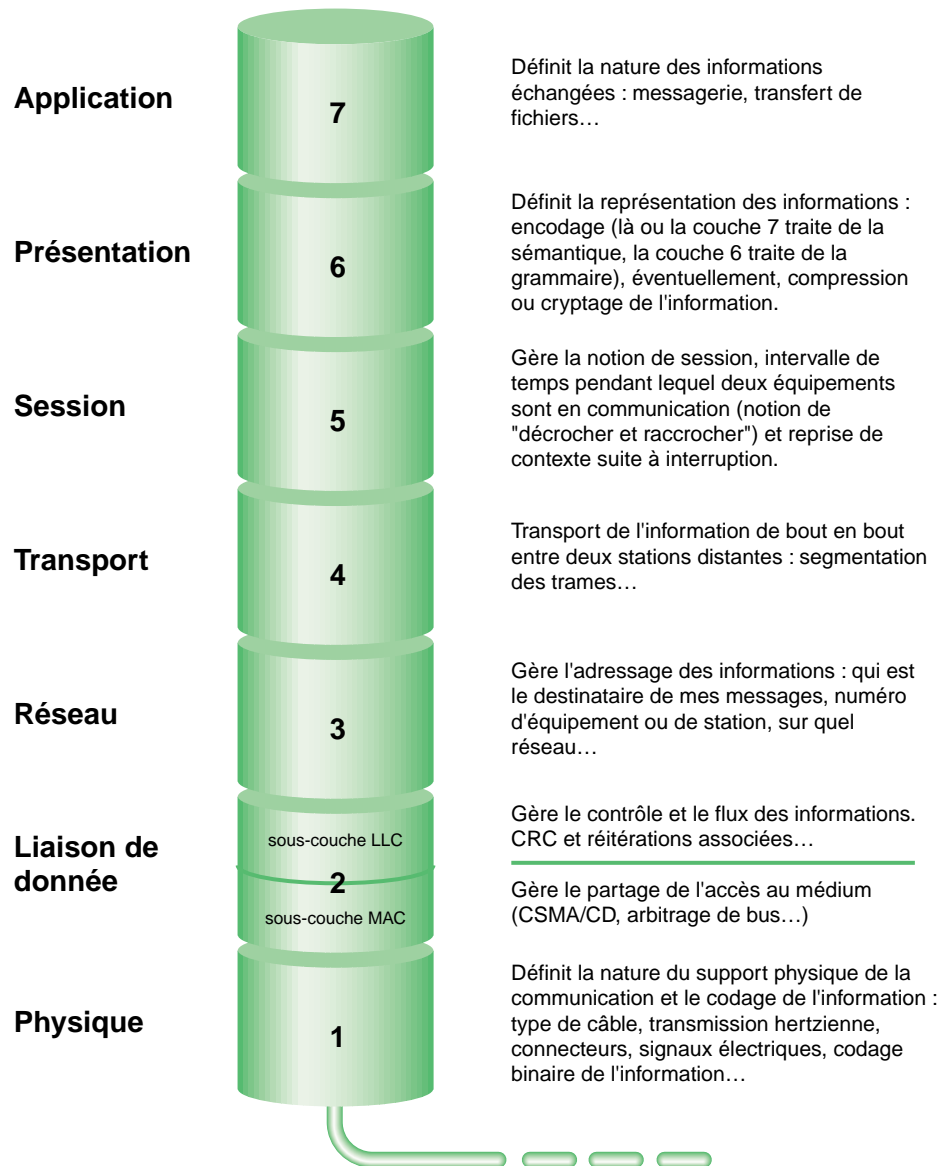


Fig. 14 : le modèle OSI.

# Bibliographie

---

## **Cahiers Techniques Schneider Electric**

- Initiation aux réseaux de communications numériques.  
E. KOENIG, Cahier Technique n°147.

## **Ouvrages divers**

- Les réseaux locaux industriels.  
F. LEPAGE, Hermès -  
Traité des nouvelles technologies.  
Série Automatique
- Les bus de terrain.  
G. FAGES, Schneider Electric, Collection  
Technique.

## **Adresses Internet**

- Sites généralistes  
(contiennent de nombreux liens)  
<http://cran.esstin.u-nancy.fr/CRAN/Cran/ESSTIN/FieldBus.html>  
<http://www.fieldbus.com>  
<http://www.infoside.de>  
<http://www.shipstar.com>  
<http://www.industrial-networking.com>
- Sites relatifs aux principaux bus d'automatisme  
<http://www.as-interface.com>  
<http://www.can-cia.de>  
<http://www.controlnet.org>  
<http://www.devicenet.org>  
<http://www.industrialethernet.com>  
<http://www.industrial-ethernet.com>  
<http://www.fieldbus.org>  
<http://www.worldfip.org>  
<http://www.interbusclub.com>  
<http://www.modbus.org>  
<http://www.profibus.com>
- Sites Schneider Electric  
<http://www.schneider-electric.com>  
<http://www.schneiderautomation.com>  
<http://www.schneideralliances.com>  
<http://www.transparentfactory.com>



**Schneider Electric**

Direction Scientifique et Technique,  
Service Communication Technique  
F-38050 Grenoble cedex 9  
Télécopie : (33) 04 76 57 98 60

Réalisation : AXESS - Saint-Péray (07).  
Edition : Schneider Electric  
Impression : Imprimerie du Pont de Claix - Claix - 1500.  
- 100 FF-